

Treball de Fi de Màster

Máster Universitario en Ingeniería de Organización

Estado del arte de la aplicación de la tecnología Blockchain en la Cadena de Suministro

MEMORIA

Autor: Imanol Olaizola Arregui
Director: Imma Ribas
Convocatòria: Abril 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el estado actual de la tecnología Blockchain en la Cadena de Suministro.

Para ello, se ha diseñado y realizado una revisión sistemática de la bibliografía para poder informarse y recolectar los artículos académicos que tenga mayor relación con el tema analizado. Una vez recolectados estos artículos, se han leído y analizado para después agruparlos en tres grupos mayoritarios: trazabilidad, aplicaciones industriales y transparencia y reducción de costes.

Basándonos en estas agrupaciones generales, se ha indagado en el estado actual que tiene la tecnología Blockchain en las Cadenas de Suministros para así, además, detectar y enlistar los beneficios que dicha tecnología puede proveer a las empresas actuales. Desde ventajas competitivas y revolucionarias que podrían ser clave para que muchas agrupaciones y cooperativas puedan seguir subsistiendo en el mercado hasta grandes proyectos para empresas industriales que facilitarían la integración con sus proveedores y posibilitarían un mayor grado de automatización y optimización de recursos.

Por otro lado, también se han detallado y estudiado las limitaciones que puede llegar a tener dicha tecnología, como falta de estandarizaciones o elevados costes de computación y energía, convirtiéndolo de esta manera una inversión arriesgada, puesto que puede que para ciertas empresas el coste sea demasiado elevado y no puedan llegar a rentabilizarlo.

En todo caso, la tecnología Blockchain ha venido para quedarse en las Cadenas de Suministro y en los próximos años seguramente se presenciarán avances y mejoras que hagan de esta tecnología una gran revolución industrial.

Sumario

SUMARIO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
1. GLOSARIO	9
2. INTRODUCCIÓN	11
2.1. Objetivos del proyecto.....	11
2.2. Alcance del Proyecto	12
3. LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN	13
3.1. En que se basa la tecnología Blockchain	14
3.1.1. El Consenso	15
3.1.2. Los Bloques	15
3.1.3. Firma digital	18
3.1.4. Cómo funciona la tecnología Blockchain	19
3.1.5. Contratos Inteligentes.....	21
3.1.6. Tipos de redes Blockchain.....	22
4. LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA CADENA DE SUMINISTRO	25
4.1. Revisión Bibliográfica.....	26
4.1.1. Paso 1.....	27
4.1.2. Paso 2.....	27
4.1.3. Paso 3.....	27
4.1.4. Paso 4.....	28
4.1.5. Paso 5.....	28
4.1.6. Paso 6.....	28
4.1.7. Paso 7.....	28
4.2. Clasificación de la Documentación Académica Seleccionada	29
5. ANÁLISIS DE LA LITERATURA	30
5.1. Trazabilidad.....	31
5.2. Aplicaciones Industriales.....	43
5.3. Transparencia y Reducción de Costes	53
6. CONCLUSIONES	63
7. IMPACTO AMBIENTAL	65
8. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	66

AGRADECIMIENTOS	67
------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA	68
---------------------	-----------

Referencias Bibliográficas.....	68
---------------------------------	----

Índice de Tablas

Tabla 1: Diferencia entre Blockchain Público y Privado. Fuente: propia.....	22
-----------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 2: Pasos de la revisión sistemática. Fuente: propia.	26
-----------------------------------------------------------------	----

Tabla 3: Tipos de Clasificación. Fuente: propia	29
-------------------------------------------------------	----

Tabla 4: Tabla resumen de los artículos analizados respecto a la trazabilidad.	42
-------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 5: Tabla resumen de los artículos analizados respecto a las aplicaciones industriales	52
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 6: Tabla resumen de los artículos analizados respecto a la transparencia y reducción de costes.....	62
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 7: Presupuesto del proyecto. Fuente: propia.	66
---------------------------------------------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1: Ejemplo de arquitectura de la secuencia de bloques. Fuente: Zheng, 2017.	15
Figura 2: Estructura de un bloque. Fuente: Zheng, 2017.	16
Figura 3: Generación de la cadena de bloques mediante transacciones. Fuente: (Crosby et al., 2016)	16
Figura 4: Funcionamiento de una firma digital. Blair Marshall, 2015.	18
Figura 5: Funcionamiento del Bitcoin. Fuente: cryptonario.net	19
Figura 6: Ejemplo del proceso de minado de bloque. Fuente: es.cointelegraph.com	20
Figura 7: Búsqueda en base datos y revisión sistemática. (Casino, 2019)	30
Figura 8: Importaciones de madera aserrada por país. Fuente: (Vilkov, 2019).....	32
Figura 9: Flujo de la producción y distribución del té. Fuente: Liao, et al., 2019.	33
Figura 10: Diagrama de Flujo para la recogida y almacenamiento de datos en la CS. Fuente: Borrero, 2018.....	34
Figura 11:Arquitectura general de la cadena propuesta. Fuente: Salah et al., 2019.....	36
Figura 12: Esquema de la GCOIN. Fuente: Tseng et al., 2018.....	38
Figura 13: Flujo de Trabajo de la GCOIN. Fuente: Tseng et al., 2018	38
Figura 14: Capturas de la aplicación SmartTree. Fuente: Figorilli, 2018	40
Figura 15: Estructura de OriginChain. Fuente: Lu y Xu, 2017.	41
Figura 16: Estructura de las conexiones con la Blockchain. Fuente: Fernández-Caramés, 2019.....	43
Figura 17: Resultados de los 4 test de inventario. Fuente: Fernández-Caramés, 2019.....	44
Figura 18: Posibles mejoras de la Blockchain en la Industria Automovilística. Fuente: Fraga-Lamas, 2019.....	45
Figura 19: Diagrama de Flujo para la Blockchain. Fuente: Fraga-Lamas, 2019.	47

Figura 20: Esquema del ensamblaje. Fuente: Madhwal y Panfilov (2017)	51
Figura 21: Arquitectura del sistema. Fuente: Harshavardhan et al., (2019)	55
Figura 22: Comparación de precios de venta por cada usuario de la CS. Fuente: Harshavardhan et al., (2019)	56
Figura 23: Arquitectura Blockchain planteada. Fuente: Baumung y Fomin (2018).	58
Figura 24: Portal web de la Blockchain. Fuente: Baumung y Fomin (2018).	58

1. Glosario

BC: Blockchain. Se entiende como Blockchain una estructura de datos en la que la información contenida se agrupa en conjuntos (bloques) a los que se les añade metainformaciones relativas a otro bloque de la cadena anterior en una línea temporal, de manera que, gracias a técnicas criptográficas, la información contenida en un bloque solo puede ser repudiada o editada modificando todos los bloques posteriores.

HASH: es un algoritmo criptográfico unidireccional, es decir, solo se puede calcular en una dirección y no se puede decodificar de vuelta. En el caso del Bitcoin el hash usado es el SHA-256, donde el resultado está compuesto de 62 dígitos hexadecimales.

IdC: Internet de las Cosas. Se define como la interconexión a través de Internet de dispositivos informáticos integrados en objetos cotidianos, lo que les permite enviar y recibir datos. Es decir, el IdC hace conectar los aparatos a Internet para así poder habilitar nuevas funciones como por ejemplo controlar elementos inteligentes de forma remota y recibir alertas.

P2P: Red Peer-to-Peer. Es entendido como es una red de ordenadores en la que todos o algunos aspectos funcionan sin clientes ni servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan como iguales entre sí. Es decir, actúan simultáneamente como clientes y servidores respecto a los demás nodos de la red. Las redes P2P permiten el intercambio directo de información, en cualquier formato, entre los ordenadores interconectados.

CS: Cadena de Suministro o Supply Chain. Definido por la APICS se entiende como Supply chain “un sistema de organizaciones, personas, tecnologías, actividades, información y recursos involucrados en el movimiento de materiales, productos y servicios durante todo el proceso de fabricación, desde el proveedor original del proveedor de materiales hasta el cliente final.”

HA-256: es un conjunto de funciones hash criptográficas diseñadas por la Agencia de Seguridad Nacional (NSA) y publicada en 2001 por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) como un Estándar Federal de Procesamiento de la Información (FIPS). Es un algoritmo que transforma un conjunto arbitrario de elementos de datos, como puede ser un fichero de texto, en un único valor de longitud fija, el hash.

Tiempo Unix: también conocido como Tiempo POSIX es un sistema para la descripción de instantes de tiempo. Se define como la cantidad de segundos transcurridos desde la medianoche UTC del 1 de enero de 1970, sin contar segundos intercalares.

Timestamp: es una secuencia de caracteres que denotan la hora y fecha (o alguna de ellas) en la/s que ocurrió determinado evento. Es un término muy usado en la informática para referirse al tiempo en las BBDD, programación, etc.

Smart Factory: La fábrica inteligente es un sistema flexible que puede optimizar el rendimiento a través de una red más amplia, adaptarse y aprender de las nuevas condiciones en tiempo real o casi real, y ejecutar de forma autónoma procesos de producción completos.

2. Introducción

En un entorno globalizado como el actual las empresas deben ser competitivas para mantenerse en el mercado. Esta competitividad, en muchos casos, se logra a través de la cadena de suministro donde diferentes empresas, que pueden estar en diferentes países, deben colaborar y coordinarse para alcanzar un objetivo común. Esta coordinación no siempre es fácil y es uno de los mayores retos a los que se tienen que enfrentar.

En los últimos 20 años han surgido diferentes iniciativas para lograr esta coordinación y colaboración en las que la tecnología, en particular los sistemas de la información han jugado un rol destacado. Aun así, el reto y la necesidad de mejorar estos aspectos está vigente.

Una de las tecnologías que podría marcar el antes y después de la cadena de suministro podría ser la tecnología Blockchain. Una tecnología transparente, segura e inmutable que es considerada de las mayores revoluciones de la última década.

Esta tecnología ha empezado a aplicarse para resolver problemas de coordinación existentes en algunos sectores, aunque todo su potencial aún está por llegar. Es por tanto que se ha propuesto realizar este trabajo para así ver y analizar el estado del arte de esta tecnología aplicado a la cadena de suministro.

2.1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es analizar las aplicaciones que la tecnología Blockchain ha tenido en la cadena de suministro, los beneficios que ha aportado y las barreras que encuentra, actualmente, su aplicación. Este objetivo general se divide en los siguientes objetivos específicos:

Buscar y obtener los últimos artículos académicos e informes relacionados con el estado del arte de la aplicación de la tecnología Blockchain en la cadena de suministro. La búsqueda se hará en las bases de datos SCOPUS y Web of Science, pero también en Google Scholar ya que al ser una tecnología tan reciente se debe ampliar la búsqueda en otras bases de datos menos exigentes.

Analizar los artículos que estén directamente relacionados con la aplicación de la tecnología Blockchain en la cadena de Suministro.

Identificar los beneficios que el uso de esta tecnología ha tenido para la cadena de suministro, así como las barreras principales para su uso.

2.2. Alcance del Proyecto

El proyecto se centra en buscar información respecto al tema y analizar los beneficios que ha aportado sin desarrollar o llevar a cabo un proyecto de Blockchain en una cadena de suministro de manera empírica y prácticas.

3. La Tecnología Blockchain

La tecnología Blockchain se basa en la combinación de tecnologías de intercambio, procesamiento y almacenamiento de datos entre múltiples participantes basados en criptografía moderna, protocolo de consistencia distribuida, tecnología de comunicación de red punto a punto y lenguaje de programación de contratos inteligentes (Huang et al., 2019). Otra definición podría ser la de un registro distribuido e inmutable de información, y al mismo tiempo integrable y programable (Garcia, 2019).

Estas definiciones pueden llegar a ser demasiado técnicas y complejas, pero se puede explicar de una manera más sencilla utilizando un símil. La tecnología Blockchain es como un libro de contabilidad de una empresa en el cual se anota la entrada y salida de transacciones y se coteja con el de las empresas que lo reciben (Christidis, 2016). Hoy en día si una persona transfiere una cantidad de dinero, está obligada a hacerlo mediante los intermediarios financieros tradicionales (como pueden ser los bancos o las empresas digitales como Paypal) los cuales certifican, validan su identidad y registran la transacción. En el caso de la Blockchain no hay necesidad de intermediarios puesto que esta transferencia se da directamente del emisor al receptor (Nakamoto, 2008). La cadena de bloques actúa como una fuente inmutable y segura que no permite errores y provee a los usuarios una fiabilidad total respecto a sus transferencias (Christidis, 2016).

Mediante la tecnología Blockchain, por lo tanto, se consigue eliminar la necesidad de este tercero evitando así posibles costes añadidos (Christidis, 2016). Esto significa que ninguna entidad obtendría los datos de las transferencias, evitando así cualquier tipo de compraventa de datos (Contreras, 2015). El ejemplo más común de la tecnología Blockchain es la transferencia financiera, pero esta tecnología es posible usarla para transferir cualquier tipo de datos, con lo cual, se puede encontrar aplicaciones en sectores totalmente diferentes.

Dicha tecnología fue usada por primera vez para la criptomoneda Bitcoin, presentada por Satoshi Nakamoto el 2009, supuesta identidad falsa para referirse a los creadores del Bitcoin que podrían ser una o varias personas (Davis, 2011). El supuesto creador, publicó un artículo en metzdowd.com en el año 2008 que describía un sistema P2P de dinero digital. El siguiente año, lanzó el software Bitcoin, creando la red necesaria con el mismo nombre y las primeras monedas también llamadas Bitcoin (Nakamoto, 2008).

Por suerte, la tecnología Blockchain no tiene por qué estar limitado al mercado de las criptomonedas, es más, los diferentes usos que se le pueden dar son casi ilimitados. De acuerdo con Melanie Swan, fundadora del Institute for Blockchain Studies, es posible dividir

los diferentes tipos de Blockchain en tres categorías (Swan, 2015), basándonos en el uso que se les es dado.

- Blockchain 1.0 – es el uso de la moneda, el despliegue de criptomonedas en aplicaciones relacionadas con efectivo, como transferencia de divisas, remesas y sistemas de pago digital.
- Blockchain 2.0 – es el uso de contratos, todo lo que es abarcado por la economía, aplicaciones financieras y de mercado que usan Blockchain y que son más extensas que transacciones simples de efectivo: acciones, bonos, préstamos, hipotecas, títulos, propiedad inteligente, contratos inteligentes.
- Blockchain 3.0 – son las aplicaciones de Blockchain más allá de la moneda, las finanzas y los mercados particularmente en las áreas de gobierno, salud, ciencia, cultura y arte.

3.1. En que se basa la tecnología Blockchain

Para conseguir comprender la tecnología Blockchain es necesario entender la naturaleza y el funcionamiento de la cadena de bloques. Siguiendo con el símil anterior, se puede entender la cadena de bloques o Blockchain como un libro de contabilidad en el que las anotaciones se agrupan en bloques con una marca de tiempo (también conocido como Timestamp) para cada anotación.

Cada bloque tiene un número identificador que lo hace diferente del resto de los bloques. Por otro lado, cuando un bloque es añadido a la cadena, se añade al bloque el número identificador del bloque anterior. De esta manera todos los bloques tienen el número que identifica a su bloque anterior, ratificando el orden de los bloques y haciendo posible encontrar su ubicación en caso de querer buscarlos (Christidis, 2016). La cadena puede verse en la Figura 1 con los componentes de los bloques que se explicarán más en detalle en el apartado 3.1.2.

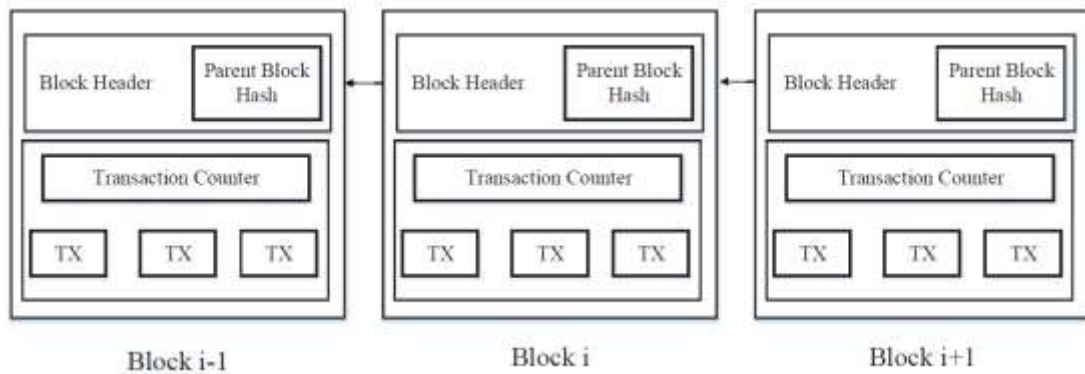


Figura 1: Ejemplo de arquitectura de la secuencia de bloques. Fuente: Zheng, 2017.

Para que la cadena de bloques pueda funcionar existen tres conceptos necesarios que están relacionados entre ellos; el consenso, los bloques y la firma digital.

3.1.1. El Consenso

Una de las claves para que la tecnología Blockchain funcione es el consenso. También conocido como “consensus”, es basado en la aceptación por todos los miembros de la red Blockchain de que la información que se tiene es correcta y de que el bloque puede ser validado y aceptado en la cadena (fuente: academy.bit2me.com).

Para desarrollar estos consensos existen diferentes tipos de algoritmos de consenso siendo el más conocido la Prueba de Trabajo o Proof-of-Work, usado por ejemplo por Bitcoin. Este tipo se basa en obtener el código hash (lo que sería como un número identificador) de cada bloque mediante prueba y error heurístico y al haber conseguido el número, compartirlo con los otros nodos para que confirmen que el código coincide con el bloque (fuente: hashcash.org). El proceso de obtener el hash es más conocido como minería y es explicado en detalle en el apartado 3.1.4.

En el caso de la red Bitcoin, la información se agrupa en bloques y estos son validados mediante el minado. El minado no es más que la sincronización de todos los nodos que forman parte de la red, para que mediante esta sincronización puedan estar seguros de que la información es correcta y no existen manipulaciones (fuente: academy.bit2me.com). Este proceso es explicado más en detalle en el párrafo 3.1.4.

3.1.2. Los Bloques

El bloque consiste en dos partes generales: la cabecera del bloque (block header) y el cuerpo (block body).

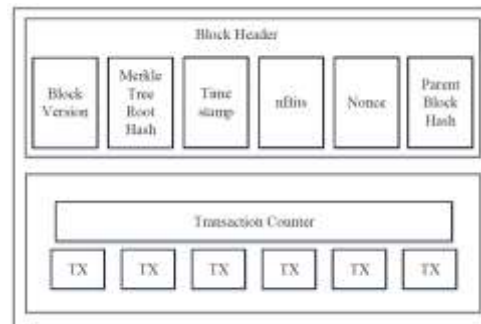


Figura 2: Estructura de un bloque. Fuente: Zheng, 2017.

La cabecera del bloque es donde se ubican la mayoría de los parámetros del bloque (Zheng, 2017) como es posible verlo en la Figura 2. Este está compuesto por elementos como la versión del bloque, el número hash del bloque anterior, la marca de tiempo, etc. Es donde se ubican todas las características técnicas que dan información sobre el bloque y su posición en la cadena.

Por otra parte, el cuerpo del bloque es donde se acumula casi toda la información. Está compuesto por dos apartados: el contador de transacciones, para llevar un registro de cuantas transacciones se encuentran en el bloque, y las mismas transacciones, es decir, en el caso del Bitcoin por ejemplo cuantas unidades Bitcoin se han transferido del usuario A al B. El número máximo de transacciones que un bloque puede contener depende del tamaño del bloque y del tamaño de cada transacción.

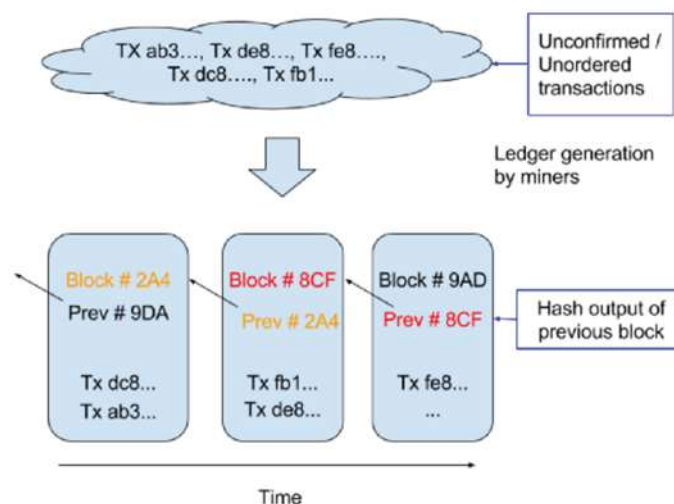


Figura 3: Generación de la cadena de bloques mediante transacciones. Fuente: (Crosby et al., 2016)

En la Figura 3 se puede ver una representación gráfica más simplificada de la creación de bloques con las transacciones y diferentes hash. Por ejemplo, en el bloque de la izquierda, el "Block # 2A4" sería el hash del bloque. El elemento "Prev #9DA" sería el hash del bloque

anterior y por último “Tx dc8” y “Tx ab3” representarían los datos guardados en ese bloque. Por otro lado, podemos ver arriba las transacciones que todavía no han sido confirmadas y por lo tanto no han pasado a ser parte de un nuevo bloque.

3.1.3. Firma digital

En las redes de tecnología Blockchain, cada usuario posee una clave privada y una clave pública. La llave pública puede ser distribuida a cualquier otro usuario sin ningún tipo de riesgo. La clave privada por otro lado, solo debe ser conocida por su dueño. Las claves son líneas alfanuméricas con una extensión determinada (Pérez, 2015).

De esta manera, la persona que actúa de remitente puede cifrar cualquier mensaje con la llave pública del destinatario. Con el mensaje cifrado, solo la llave privada de ese receptor puede descifrarlo debido a que existe una relación matemática entre ambas llaves.

Dicho esto, se define como firma digital la combinación entre una llave privada y un hash de los datos a firmar (como puede ser por ejemplo una transacción). Esta combinación de ambos componentes da una identificación digital única para demostrar la autenticidad del mensaje, sin revelar en ningún momento la llave privada del firmante.

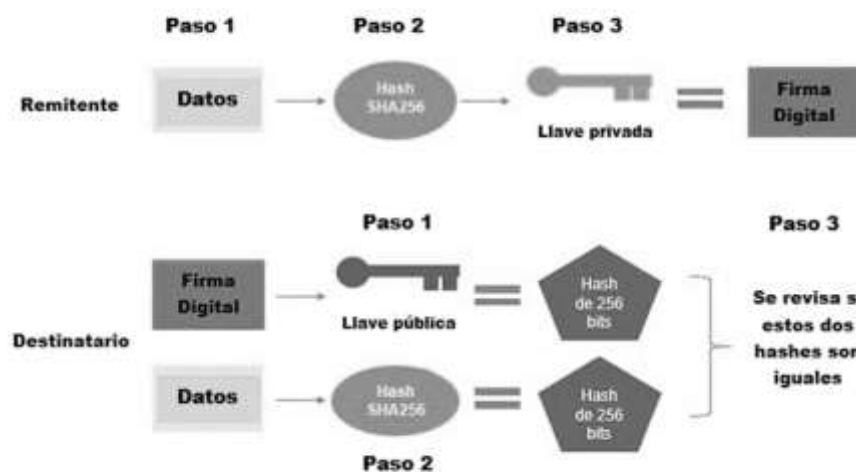


Figura 4: Funcionamiento de una firma digital. Blair Marshall, 2015.

Usando la Figura 4 como guía, se plantea el siguiente ejemplo. Un usuario llamado, Jon, quiere enviar a otro usuario, Alex, un mensaje (dígase una transacción de Bitcoins). Para que esta transacción pueda ser válida, debe estar firmada por la llave privada de Jon y Alex debe validar que la firma es auténtica. Para asegurarlo, la tecnología Blockchain sigue los siguientes pasos:

- i. Jon toma los datos de la transacción y utiliza el algoritmo SHA-256 para cifrarlo con un resultado de un hash de 64 caracteres.
- ii. El hash se “firma” con la llave privada de Jon, obteniendo como resultado dos

números conocidos como R y S. Estos tienen un peso variable entre 71 y 73 bytes, y es esto lo que consideraríamos una firma digital.

- iii. Se manda a Alex los datos de la transacción, la clave pública de Jon y la firma digital.
- iv. Con la llave pública de Jon, el sistema podrá descifrar la firma digital para conseguir el hash correspondiente a los datos de la transacción, que previamente Jon había cifrado con SHA-256 y su llave privada.
- v. Como los datos de la transacción también fueron recibidos por Alex, el sistema repite el proceso de cifrarlos para así conseguir el hash correspondiente.

Con los hashes obtenidos en los pasos 4 y 5, se verifica que ambos sean iguales. Si esto no es así, significaría que los datos han sido alterados por alguien o que la clave pública de Jon no corresponde con su clave privada. Debido a esto, la transacción no sería válida, ya que ha sido modificada durante el tránsito o la llave no corresponde al dueño de los fondos.

3.1.4. Cómo funciona la tecnología Blockchain

Para comprender el potencial de la tecnología Blockchain, es necesario entender cuál es el funcionamiento de toda la cadena para así entender sus puntos fuertes y también las limitaciones que puede llegar a tener. Basándonos en el ejemplo del Bitcoin véase la Figura 5.

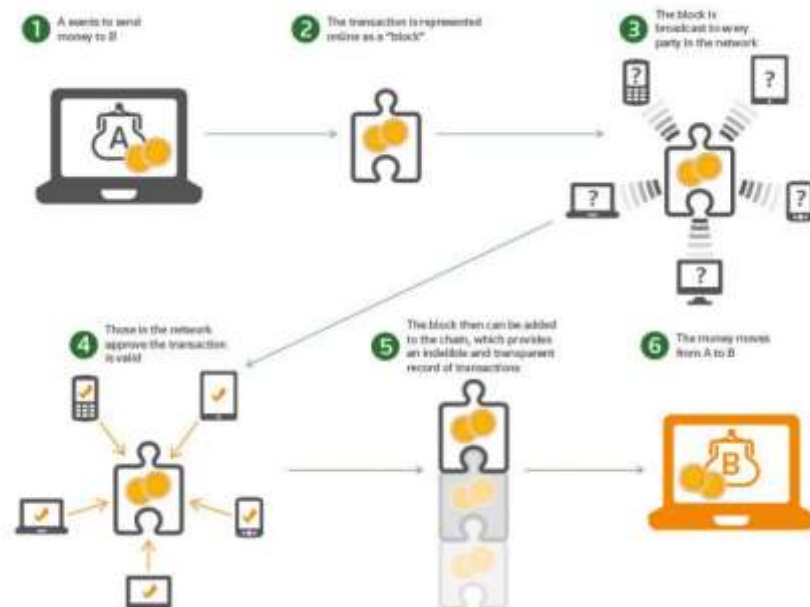


Figura 5: Funcionamiento del Bitcoin. Fuente: cryptonario.net

El proceso se puede dividir en seis partes. El estado inicial es cuando un usuario A quiere hacer una transferencia de información (en este caso monetaria) al usuario B. Esta transacción es mandada a la red y es añadida a un conjunto de transacciones que terminarán componiendo un bloque. Como se ha explicado anteriormente, los bloques están compuestos mayoritariamente por un cúmulo de transacciones.

La cantidad de información o transacciones que agrupa cada bloque es definida por la red, en el caso del Bitcoin se crea un bloque cada 10 minutos juntando así todas las transacciones que se hayan dado a lo largo de esos 10 minutos. Una vez se haya completado un bloque se da el aviso a la red compuesta por nodos. Los nodos, son puntos de la red que se pueden crear, recibir y/o transmitir un mensaje. En el caso del Bitcoin, cualquier nodo que se conecte a la interfaz puede ser considerado como un nodo en el sentido de que se comunican de alguna manera entre sí (Tschorsch, 2016).

También existe la figura del nodo completo o nodo de validación total los cuales están involucrados en el proceso de verificar las transacciones y los bloques con respecto a las reglas de consenso del sistema. Dichos nodos también pueden transmitir nuevas transacciones (fuente: binance.vision/es). Normalmente un nodo completo tendrá descargada una copia de la Blockchain de Bitcoin con cada bloque y transacción que haya ocurrido.

Estos usuarios son los que aseguran que la red sea inmutable y segura porque tienen una copia de cada uno de los bloques que ya están añadidos a la cadena.

Algunos nodos (usuarios) tienen el estatus de mineros. Estos al recibir la señal de que un bloque está cerrado, empiezan a “minar” el bloque. El minado se basa en conseguir el clave hash del bloque. Para conseguir el hash es necesario un nivel de computación muy alto, es por esto que la metodología usada por los mineros es el ensayo y error heurístico. De esta manera van probando diferentes resultados y el usuario que acierte con el hash se queda con el minado.

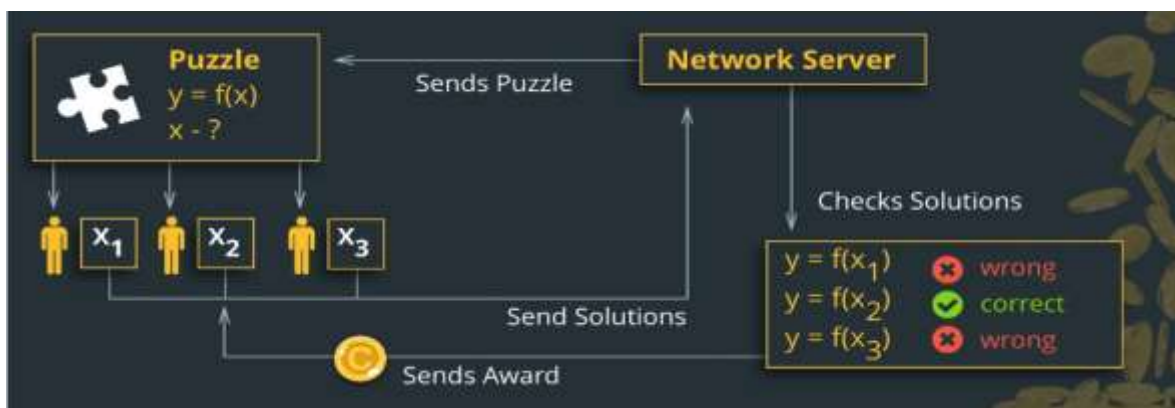


Figura 6: Ejemplo del proceso de minado de bloque. Fuente: es.cointelegraph.com

Cuando un minero da con el hash correcto, lo hace saber a todos los demás nodos de la red y estos verifican que el hash coincide con el bloque como se puede ver en la Figura 6. A pesar de que descifrar el hash requiere una capacidad de computación elevada, comprobar si la solución es la correcta con el resultado es rápido y sencillo, por lo tanto, es instantáneamente comprobado por todos los nodos de la red.

Cuando todos los usuarios de la red dan el visto bueno confirmando que el hash es el correcto, este bloque es añadido a la cadena de bloques y al minero que ha conseguido descifrarlo se le da una recompensa (en el caso del Bitcoin, recibe 12,5 Bitcoins).

Así, cuando el bloque ha sido consensuado y ha quedado consolidado en la cadena, la transferencia se da por realizada y todos los nodos pueden asegurar que ese proceso ha sido efectuado.

3.1.5. Contratos Inteligentes

Un contrato inteligente es de hecho un contrato, pero en vez de estar firmado en un papel es un programa informático que asegura que, si ambas partes del contrato cumplen con lo establecido, se llevara a cabo el acuerdo planteado en dicho contrato (Christidis, 2016).

Esto se puede llevar a cabo en temas monetarios, por ejemplo. Dígase, por ejemplo, que Juan quiere apostar una cantidad de X bitcoins a favor de que el Futbol Club Barcelona gana el siguiente partido y apuesta con Joan por el resultado contrario. Ambos podrían depositar los fondos en un Smart contract o contrato inteligente para de esta manera asegurarse de que una vez se termine el partido y se sepa el resultado, el ganador se lleve los fondos apostados. Para esto, es necesario que de alguna manera el contrato inteligente reciba información esta y para ello existen los oracles (oráculos) (fuente: criptonoticias.com/criptopedia). Estos son el medio que conduce el flujo de información del mundo real a los contratos inteligentes (Luu, 2016).

Otro uso útil de los contratos inteligentes cada vez más popular, es el uso de esta herramienta con el IoT (fuente: criptonoticias.com/criptopedia). Por ejemplo, imagínese que se tiene una casa inteligente y Juan quiere comprar la casa de Judith mediante cuotas mensuales. Ambos llegan a un acuerdo y utilizan una plataforma de contratos inteligentes (como podría ser Ethereum o SmartContract) para crear un contrato inteligente que programe todos los términos establecidos entre ambos.

Entre estos términos estará que Juan pagará una cantidad X de dinero antes de cierta fecha cada mes, y si no, al ser una casa inteligente el contrato ordenara a la cerradura de la casa que se bloquee. Por otro lado, si todos los pagos se realizan correctamente, Judith cederá la propiedad de la vivienda en el registro de la cadena de bloques a Juan. Todo esto

se realizaría sin ningún intermediario y sin que Juan o Judith puedan intervenir. Este ejemplo se puede extrapolar a cualquier propiedad física inteligente.

Las ventajas son claras, este tipo de contratos aportan una autonomía clara y la falta de necesidad de intermediarios, reduciendo así los costes a ambos usuarios. Por otra parte, la cadena de bloques al ser inmutable, asegura a los usuarios una seguridad y confianza de que el contrato se va a cumplir y en el caso de que no se cumpla ambos terminarían como lo acordado (fuente: criptonoticias.com/criptopedia).

Las desventajas por otro lado, son el IoT y Blockchain. Ambas son tecnologías punteras que todavía tienen un largo camino de desarrollo. Se ha de tener en cuenta también que los IoT hoy en día son objetos hackeables, lo cual puede crear cierto peligro de que usuarios externos puedan manipularlos y hacer los contratos inservibles (fuente: criptonoticias.com/criptopedia). Por otra parte, las cadenas Blockchain como bien se ha mencionado previamente son inmutables, es decir, una vez acordados los términos después no pueden ser cambiados. Con el objetivo de solucionar esta última parte, empresas como Accenture ya trabajan en tecnología Blockchain que pueda ser editada (Puigvert, 2016).

3.1.6. Tipos de redes Blockchain

Cuando hablamos de Bitcoin, una de sus características más significativas es la de la transparencia, la de asegurar que en el caso de esta moneda no puede haber ninguna actividad fraudulenta. Pero esto no siempre es así, la cadena de bloques puede ser más opaca si la persona que lo va a gestionar así lo desea. Es por tanto que las redes de Blockchain las podemos dividir en públicas y privadas.

Blockchain público	Blockchain Privado
<p>Cualquier persona puede unirse a la red, esto significa que pueden leer, escribir o incluso participar en una red Blockchain pública.</p> <p>Una red Blockchain pública esta descentralizada y nadie tiene el control sobre la red, por lo tanto están seguras de que nada ni nadie pueda cambiar la información una vez validada en la red Blockchain.</p>	<p>Las redes Blockchain privadas restringen quien puede tener acceso a la red y a qué tipo de transacciones, haciendo de esta manera posible crear una división en el acceso de datos dependiendo del perfil del usuario.</p>

Tabla 1: Diferencia entre Blockchain Público y Privado. Fuente: propia

Para empezar, hay ciertas características que ambos tipos de redes comparten (Jayachandran, 2017):

- Ambas son redes descentralizadas del tipo Red entre Pares (más conocido como P2P o peer-to-peer) donde cada participante mantiene una réplica de toda la cadena con los bloques y las transacciones firmadas digitalmente.
- Ambas mantienen las réplicas en sincronización constante a través de un protocolo que es llamado como “consenso”. Si esto no fuese así la Blockchain perdería toda su seguridad e inmutabilidad.
- Ambos tipos brindan una garantía incuestionable sobre la inmutabilidad de la cadena, incluso cuando algún nodo es defectuoso o malicioso. Es decir, no es necesario que todos los nodos funcionen todo el tiempo, con que haya n réplicas (dependiendo de su nivel de computación) es suficiente.

Después estarían las diferencias entre la red de bloques pública y privada. La mayor diferencia entre una cadena de bloques privada y una pública está basado en quien está autorizado a participar en la red, ejecutar el protocolo “consenso” y mantener la red. En el caso de la Blockchain pública, este es totalmente abierto y cualquiera puede unirse y participar en ella. Normalmente esta cadena tendrá un mecanismo para incentivar a que más participantes se unan a ella (como la minería de Bitcoin que ofrece monedas por minar sus bloques).

Desgraciadamente, una de las desventajas de la tecnología Blockchain pública es la necesidad de potencia computacional para mantener la red a gran escala. Como se mencionaba antes, se necesitan mineros que resuelvan el hash (o también conocido como “prueba de trabajo”) para que la cadena siga en funcionamiento y asegurarse de que todos los nodos están sincronizados.

Otra posible desventaja es la falta de privacidad al ser tan transparente, lo que elimina la privacidad para las transferencias y da una débil sensación de seguridad. Es por esto que las empresas suelen optar a una red privada.

En el caso de las privadas, es un requerimiento esencial la invitación a la red que debe ser validada por el usuario que inicio la red o por un cúmulo de reglas que estableció el creador de la red.

Estas redes restringen quienes y en cuales de ellas pueden participar en las transferencias. El control de acceso puede variar: participantes existentes que deciden qué usuarios entran, una autoridad reguladora que podría emitir licencias de participación o incluso un consorcio que podría tomar las decisiones en su lugar. Como es de suponer, en el caso de

las redes privadas cuando una entidad es unida a la red obtendrá el rol de nodo, desempeñando así un papel de mantenimiento de la cadena de bloques de manera descentralizada igual que se daría en una red de bloques pública.

4. La Tecnología Blockchain en la Cadena de Suministro

Como ha sido descrito previamente, la tecnología Blockchain es una tecnología novedosa con mucho recorrido por delante. Hace abrir una cantidad ilimitada de posibilidades en los que esta tecnología podría mejorar y hacer avanzar diferentes aspectos empresariales, industriales e incluso sociales.

Por ejemplo, la tecnología Blockchain se podría usar para hacer contratos inteligentes como se explicaba en el párrafo 3.1.5. De esta manera habría total seguridad para el comprador y vendedor y se realizaría el proceso de una manera más rápida y eficiente que contratando el servicio de terceros. Otro ejemplo sería el de implantar el uso de la tecnología Blockchain en los gobiernos actuales para diferentes procesos como, por ejemplo, unas elecciones. De esta manera se podrían evitar todo tipo de plagios, manipulaciones y además los habitantes de ese país podrían votar desde un dispositivo electrónico como puede ser un móvil o un ordenador.

También otro uso interesante de la tecnología Blockchain puede ser en la industria de la salud. Dada su inmutabilidad y por lo tanto imposibilidad de sufrir un hackeo, la cadena de bloques puede permitir que los historiales médicos de los pacientes estén totalmente seguros y privados. Además, hoy en día los historiales médicos son guardados por hospital o centro sanitario, y la tecnología Blockchain daría la posibilidad de al tener la cadena distribuida y por lo tanto acceso al historial médico desde cualquier sitio.

En este proyecto, nos centramos en el uso que se le puede dar en el ámbito de la Cadena de Suministro (de ahora en adelante referido a él como CS). Para empezar, la Blockchain podría ser usada para tener una trazabilidad de los productos debido a la seguridad que puede ofrecer de que no se ha hecho ningún cambio en los datos de la cadena. De esta manera se podría analizar, si hay algún problema de calidad, en qué punto de la CS se ha dado y evitar todo el lote afectado de manera efectiva. Esta utilidad es de gran importancia para industrias como la farmacéutica o la alimentaria, donde por ejemplo romper la cadena de frío puede suponer graves problemas para el producto final. Otra utilidad interesante puede ser la de usar la tecnología Blockchain para evitar falsificaciones o mercados negros. Al tener una red que lleva el registro de, por ejemplo, toda la compra-venta de coltán, se podrían exigir datos como la procedencia y la mano de obra para confirmar que no había sido obtenida por trabajo esclavo.

En los capítulos posteriores se presenta la búsqueda bibliográfica realizada sobre el potencial que puede tener la tecnología Blockchain en la CS así como el análisis de los

artículos académicos encontrados para identificar casos de uso, los beneficios que puede aportar y las barreras que tiene a día de hoy.

4.1. Revisión Bibliográfica

Con el fin de cumplir los objetivos propuestos al inicio de este proyecto, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica detallada. Para que la búsqueda fuese lo más precisa y completa posible, se ha optado por realizar una revisión de la literatura sistemática la cual permite obtener la información necesaria de la literatura disponible al resumir, clasificar y comparar los artículos publicados dentro del tema que es estudiado. La recogida de documentos académicos se hizo en noviembre del 2019 por lo que todos los documentos publicados a posteriori no aparecen en este trabajo. Esta revisión está compuesta por 7 pasos consecutivos ilustrados en la Tabla 2 con el objetivo de obtener los artículos que tengan un impacto real en el tema y proporcionen una visión clara del estado del arte actual de la tecnología Blockchain en SC.

Paso 1: Definición de Alcance y Área

Se ha definido la búsqueda para aplicaciones de la tecnología Blockchain en la CS

Paso 2: Búsqueda Integral. Identificación de Keywords y Búsqueda

Keywords sobre la Blockchain pero enfocados en la CS.

Keywords relacionadas con las industrias más avanzadas en Blockchain y que lo hayan aplicado a la CS.

Paso 3: Exclusión Preliminar de Documentos Irrelevantes. (n = 4.339)

Selección de documentos que estén en inglés o español y relacionados a áreas como el Business Management o Supply Chain Management. (n = 1.526)

Paso 4: Eliminación de Duplicados (n = 2.813)

Posibles duplicados son eliminados debido a la búsqueda de artículos en dos diferentes BBDD. (n = 2.347)

Paso 5: Evaluación de Relevancia de los Keywords y su Contexto. (n = 466)

Artículos con los Keywords pero sin relación directa con el tema a analizar. (n = 425)

Paso 6: Lectura del Abstract. Evaluar la relevancia del Abstract respecto a los parámetros de búsqueda establecidos. (n = 41)

Falta de relación entre la Blockchain y la CS.
(n = 17)

Falta de acceso al documento debido a su privacidad.
(n = 3)

Paso 7: Lectura y Análisis de los Artículos Seleccionados. (n = 27)

Tabla 2: Pasos de la revisión sistemática. Fuente: propia.

4.1.1. Paso 1

Para empezar, ha sido necesario definir el alcance y área que se querrá analizar para así evitar desvíos o ruidos que hagan perder el hilo del proyecto. La búsqueda de información se ha basado en encontrar todo tipo de artículos académicos enfocados al uso de la tecnología Blockchain en diferentes SC. A lo largo de la búsqueda se han hallado documentos por ejemplo que solo hacían referencia al desarrollo y la mejora de la tecnología Blockchain sin tener en cuenta en ningún momento la SC. Gracias a tener este paso afianzado, este tipo de artículos han sido descartados desde el inicio.

Para realizar esta búsqueda, se ha accedido a dos bases de datos: Web of Science y SCOPUS. Al inicio se planteó el uso de una tercera, Google Scholar, debido a que se creía que no habría suficiente información. Por suerte, estas dos primeras contenían suficientes documentos relacionados con el tema y por lo tanto fue dejado a un lado más adelante. La decisión de descartar esta base de datos fue debido a que las otras dos son de una mayor reputación y fiabilidad.

4.1.2. Paso 2

Como siguiente paso, se identificaron las palabras clave que mayor relevancia podían tener respecto al análisis que se quería hacer. Era necesario añadir aspectos o elementos de la SC en los keywords para evitar así la mayoría de artículos genéricos y únicamente enfocados a la Blockchain que nublarían nuestra búsqueda. Por lo tanto, los primeros keywords planteados fueron Industry Blockchain, Blockchain 4.0, Blockchain Production y Supply Chain Blockchain. Se priorizó en usar el inglés a la hora de elegir las palabras clave debido a que difícilmente se encontraban a día del análisis documentos relacionados con la Blockchain en español.

Más adelante se vio que a día del análisis se podían presenciar ciertas industrias en concreto que resaltaban sobre las demás por haber sido pioneras a la hora de empezar a plantearse el uso de esta tecnología en su SC. Es por esto que se decidió añadir 3 keywords más para poder indagar y obtener todos los documentos que relacionaran estas industrias con la tecnología Blockchain. Los keywords fueron Health Blockchain, Pharmaceutical Blockchain y Food Chain Blockchain.

4.1.3. Paso 3

Con los keywords seleccionados, se realizó la búsqueda de artículos en las bases de datos de Web of Science y Scopus. En total, se obtuvo un total de 4339 artículos.

Para no tener que analizar todos, se decidió eliminar los documentos irrelevantes. Primero, se eliminaron los artículos que no estaban escritos en inglés o español. Después, se dejaron a un lado los que no estaban relacionados con la SC o la organización de empresas. Esto último se hizo basándose únicamente en el título del artículo. Como resultado se quedó con un total de 2813 artículos.

4.1.4. Paso 4

Al haber analizado diferentes bases de datos con diferentes keywords similares, es posible que encontremos duplicados en los resultados. Es por esto que en este paso se ha optado por ver si había algún duplicado y en ese caso eliminarlo. Se encontraron 2347 duplicados, reduciendo la cantidad total de artículos a 466.

4.1.5. Paso 5

Una vez teniendo la cantidad reducida de 466 artículos, se optó por clasificarlos aún más para así no tener que analizar todos ellos. Con este fin, se analizaron los abstracts y keywords de cada uno de los documentos académicos para así poder saber si tenían una relación directa con la aplicación de la tecnología Blockchain en la SC. Al finalizar el paso, se concluyó que 425 de 466 no tenían una relación directa con el objetivo a analizar, y se quedó con una cantidad de 41 artículos.

4.1.6. Paso 6

Estos últimos 41 artículos como parte de este último paso, fueron los seleccionados para ser analizados. Desgraciadamente a la hora de empezar la lectura, se encontró con algunos artículos que no seguían el hilo del proyecto por lo tanto se decidió dejar de analizarlos a un lado. Esto fue debido a su falta de relación y desarrollo con las aplicaciones de la Blockchain en la SC. También se vio que cuatro artículos eran privados y por lo tanto no se podía tener acceso a ellos ni mediante la plataforma de la UPC. Estos pasos hicieron descartar 20 de los 41 artículos seleccionados.

4.1.7. Paso 7

Este paso se basó en leer y analizar los 21 artículos finales para estudiar las aplicaciones que la tecnología Blockchain ha tenido en la cadena de suministro, los beneficios que ha aportado y las barreras que encuentra, actualmente, su aplicación.

4.2. Clasificación de la Documentación Académica Seleccionada

Como se ha mencionado previamente, el objetivo de este estudio es examinar las aplicaciones que la tecnología Blockchain ha tenido en la cadena de suministro, los beneficios que ha aportado y las barreras que encuentra su aplicación.

Los documentos analizados pueden llegar a tener diferentes tipos de justificaciones a la hora de apoyar sus conclusiones, por lo tanto, se ha decidido dividirlos como es explicado en la Tabla 3.

Tipos de Clasificación	Definición
Estudio de Caso	Un estudio en profundidad del impacto de la tecnología Blockchain en la CS dentro de un contexto de vida real.
Prueba Experimental	Un estudio de los posibles impactos de la tecnología Blockchain en la CS mediante la manipulación de variables independientes en simulación, prueba estadística y/o prueba de campo, es decir, en entornos de la vida real.
Marco Teórico	Un estudio de una posible aplicación de la tecnología Blockchain para la CS el cual no desarrolla ninguna prueba empírica y se queda en un marco teórico inicial.

Tabla 3: Tipos de Clasificación. Fuente: propia

Por otra parte, algunos estudios han obtenido beneficios que podían ser medidos y otros se han basado en conjeturas que no han sido probadas empíricamente, por lo tanto, se ha decidido clasificarlos entre dos subgrupos: medibles y no-medibles.

5. Análisis de la literatura

El objetivo de este apartado es hacer un análisis de la literatura académica sobre el uso de la tecnología Blockchain en la cadena de suministro, ya que, actualmente, no hay ninguna revisión en el que se pueda clasificar claramente las oportunidades que ofrece y las limitaciones que tiene a finales del 2019.

Uno de los documentos recolectados, (Casino, 2019) es un análisis sistemático de la literatura, respecto la tecnología Blockchain en general. Los autores realizan una búsqueda de documentos que hayan sido publicados entre el 2014 y 2018 para concluir con un número final de 260 artículos a analizar. Como se puede apreciar en la Figura 7, los autores han llevado a cabo una revisión sistemática parecida al que se ha realizado en este trabajo.

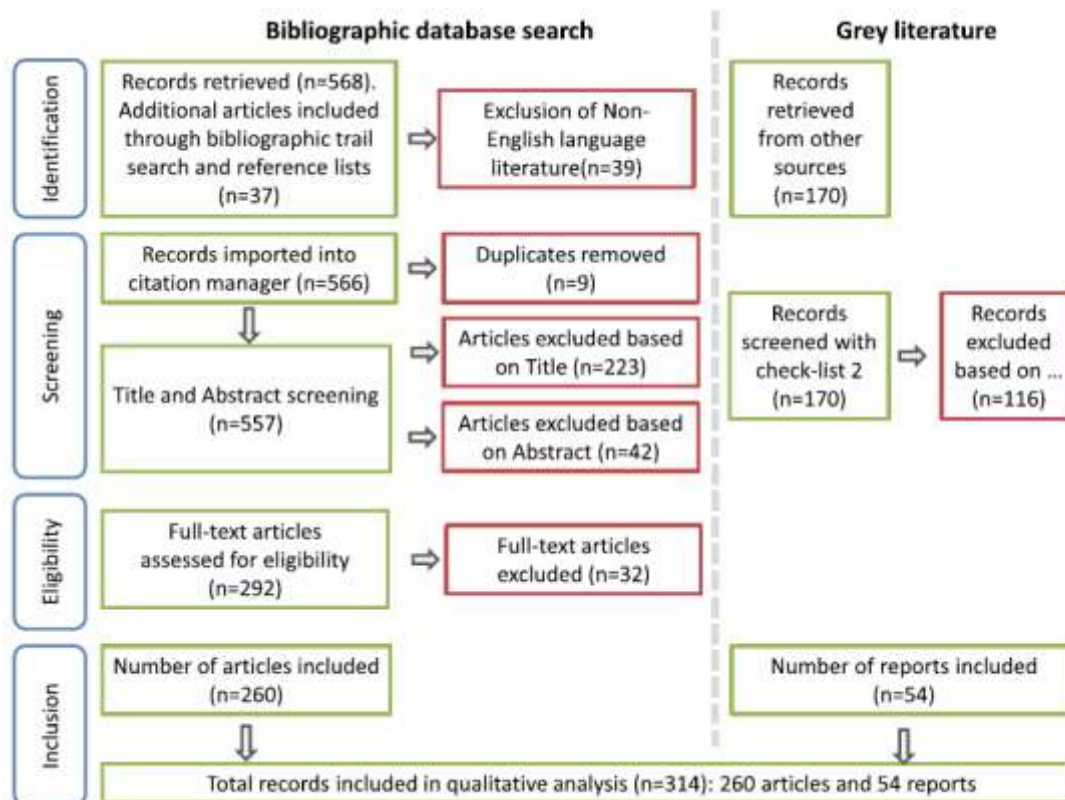


Figura 7: Búsqueda en base datos y revisión sistemática. (Casino, 2019)

Como es mencionado previamente, la tecnología Blockchain es flexible y con posibilidad de adaptarse a diferentes ámbitos empresariales, procesos productivos etc. Es por esto que los autores dividen los resultados de los análisis en diferentes aplicaciones que podría tener la tecnología Blockchain, como son: Aplicaciones financieras, Verificación de la integridad,

Sector Público, IdC (Internet de las Cosas), Privacidad y Seguridad, Gestión de la CS, etc.

En nuestro caso, se tiene un interés especial por el apartado de Gestión de la CS puesto que es la aplicación que se quiere analizar y desarrollar en este trabajo. Los autores hacen un resumen simple y sin detalles donde mencionan aspectos como la trazabilidad, la eliminación de intermediarios, la seguridad e inmutabilidad de la cadena, la descentralización, etc. Esa falta de análisis en detalle y actualización de nuevos documentos justifica la necesidad de desarrollar este trabajo para poder saber cuál es el estado del arte de la tecnología Blockchain y sus aplicaciones en la CS.

Por otra parte, conceptos como la trazabilidad o la seguridad son aspectos que se ha visto que son constantemente analizados en los documentos seleccionados, es por esto que serán usados como puntos o ideas guía para exponer todo el análisis realizado en las siguientes páginas.

5.1. Trazabilidad

Se parte de la base en la que la trazabilidad es definida como "Procedimientos que permiten controlar el histórico, la situación física y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministro en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas" (AECOC, Asociación Española de Codificación Comercial).

Considerada una característica de gran importancia en las CS de todas las industrias, la mayoría de los documentos analizados acaban señalando los múltiples factores beneficiosos que puede aportar la tecnología Blockchain en este tema. En Vilkov et al., (2019) se detalla la importancia que tiene la trazabilidad en el mercado de la madera entre Rusia y China.

Rusia es el responsable de más del 30% de las importaciones de madera a China (véase la Figura 8). Esta madera es mayormente usada para la compraventa de muebles para el hogar y comercios (Ministry for the Development of the Russian Far East, 2016) y debido a su alto consumo a lo largo de los años se ha ido estableciendo un mercado negro. Este mercado negro, según la Agencia de Investigación Medioambiental (EIA, 2013), llega a suponer que entre un 50%-80% de los bosques del este de Rusia sean cortados ilegalmente para luego ser vendidos de manera ilegal.

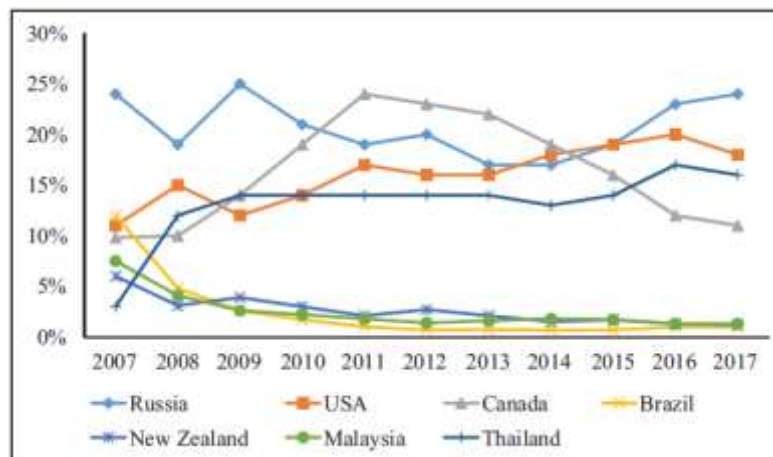


Figura 8: Importaciones de madera aserrada por país. Fuente: (Vilkov, 2019)

Consideran que la Blockchain puede suponer una transparencia y trazabilidad que sea un requisito indispensable para continuar luchando contra el mercado negro. Con esta característica, y la ayuda de los Contratos Inteligentes, los usuarios pueden tener acceso al servidor de la Blockchain y ver todos los datos de la cadena a lo largo de la CS (Costa, 2016) (Figorilli, 2018). Además, el acceso a la información puede ser definida dependiendo el tipo de usuario.

Por ejemplo, gracias a la Blockchain se podría controlar mediante GPS donde se ha hecho la tala de árboles. Es decir, para registrar toda la madera cortada sería necesario hacer login en los servidores y la misma tecnología detectaría la posición para así asegurar que la madera ha sido talada en una zona permitida. Si el GPS detectara que la madera ha sido talada en una zona no permitida, sería considerada una actividad ilegal y el Contrato Inteligente se cancelaría de inmediato (PWC 2018).

Por otro lado, en Harshavardhan et al., (2019) es analizado el uso de la Blockchain para poder asegurar la supervivencia de cooperativas y organizaciones agrícolas que están en riesgo debido a la absorción de la mayor parte del mercado por las grandes compañías y multinacionales. Los autores hacen un planteamiento experimental de una red Blockchain que se basaría en conectar el comprador final con el agricultor para reducir costes y además daría la posibilidad de que el comprador pudiese saber el recorrido por el que ha pasado su producto. Esta ventaja daría mayor información al vendedor y podría asegurar la calidad del producto comprado.

Es parecido a Liao, et al., (2019) donde se enfocan directamente en la aplicación de la Blockchain para el mercado del té en China. Tomando como referencia el té, uno de los productos agrícolas más comercializados en China, los autores analizan lo que podría suponer la implantación de la tecnología Blockchain en su CS para mejorar la trazabilidad y

poder dar al usuario final más información y facilidades para devolver cualquier producto.

Hoy en día el flujo actual es como se plantea en la Figura 9.

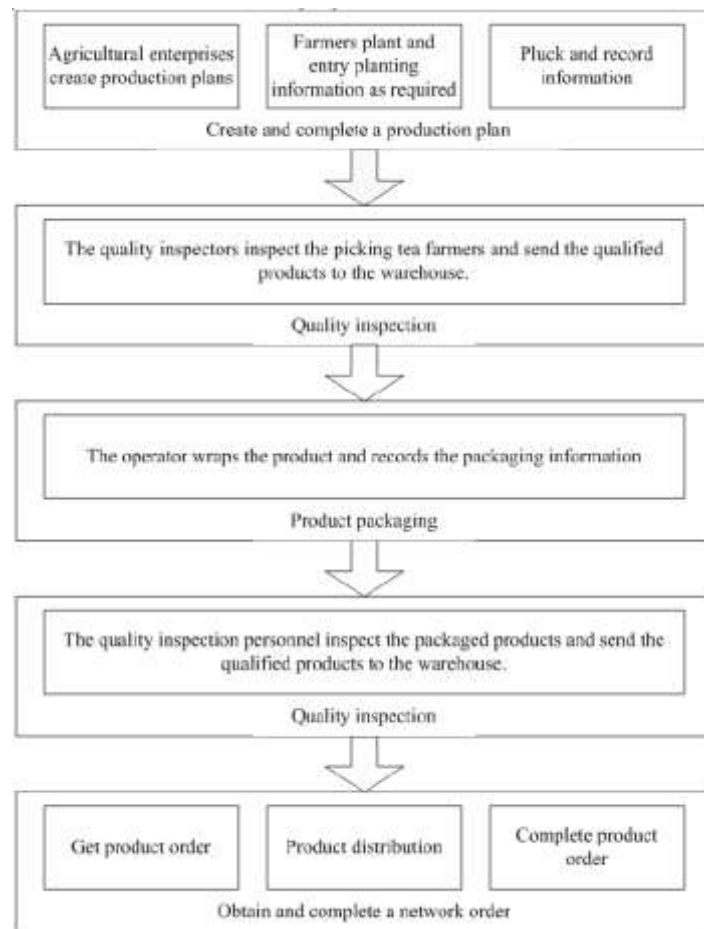


Figura 9: Flujo de la producción y distribución del té. Fuente: Liao, et al., 2019.

Para evitar todo este proceso, y de alguna manera acelerar la logística inversa de la CS, los autores plantean el uso de la tecnología Blockchain. La información de cada lote se iría añadiendo a lo largo de su producción en los bloques de la cadena. El usuario final tendría acceso a la Blockchain y con escanear el código de barras o escribir el número del lote podría acceder a toda la información de la CS de ese lote, dando así una visión transparente y de máxima trazabilidad. Gracias a esto, el usuario podría fácilmente dar el aviso de que el lote no cumple la calidad deseada y los agricultores podrían detectar el error y los lotes afectados con rapidez.

Se ha analizado también un proyecto a nivel de territorio español (Borrero, 2018), donde es planteado y desarrollado un sistema de trazabilidad basado en la tecnología Blockchain para una cooperativa agrícola en Huelva, con el objetivo resolver la crisis de confianza en la cadena de suministro de los productos agroalimentarios.

En este caso para obtener una máxima trazabilidad del producto el autor desarrolla el esquema que se puede apreciar en la Figura 10.

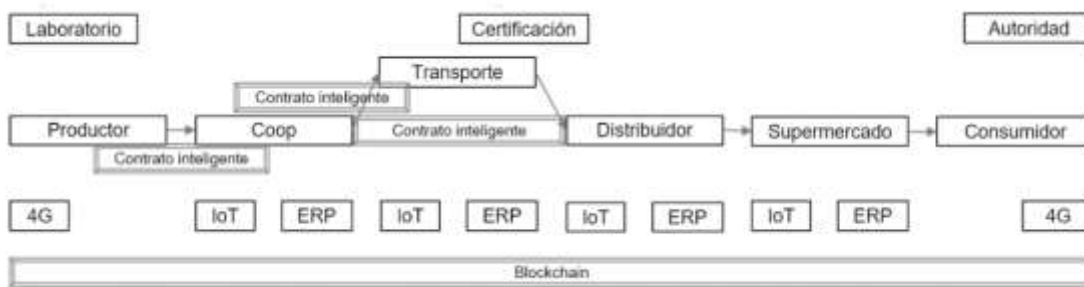


Figura 10: Diagrama de Flujo para la recogida y almacenamiento de datos en la CS. Fuente: Borrero, 2018

El proceso sería de la siguiente manera: Se cultiva y recolecta fruta en una finca de Huelva la cual necesita una autoridad de certificación para confirmar que la calidad y los requisitos de lo recolectado está correcto y así expedir la autorización de firma de buenas prácticas agrícolas. Esta firma le permite a la finca certificar los envases individuales que produce y así comercializarlos mediante la cooperativa. Asimismo, el producto y asesor técnico registran (mediante su Smartphone) todas las operaciones que son realizadas en la finca. Si la finca llegara a usar algún tipo de pesticida o químico que no esté autorizado, el laboratorio introduciría el dato en la Blockchain. Los envases que son recolectados son identificados utilizando un código de barras, etiqueta RFID o QR (los cuales obtienen información de la finca, variedad del producto, su fecha de plantación, uso de pesticidas, etc.) que la cooperativa puede leer y transferir a su ERP. La fruta que es procesada en la cooperativa es introducida en cámaras para su expedición y carga. Mientras tanto, hay sensores monitorizando a tiempo real el estado del producto y del entorno. Toda la información que sea relevante es registrada en la Blockchain a través de la red 4G.

De esta manera, el ecosistema incluye datos del ERP de la cooperativa como de otros dispositivos del IdC instalados en el campo que pueden medir datos ambientales del suelo, etiquetas y códigos y sensores en la central de manipulación que monitorean el estado del producto que pasa por diferentes fases. Así se consigue que todas las partes involucradas en la cadena puedan verificar la validez del certificado emitido al consultar la Blockchain. Más adelante el minorista puede consultar los datos en el portal de la Blockchain y asegurarse que el Contrato Inteligente ha sido ejecutado, como también pueden consultarlo los consumidores de los productos para saber información sobre su trazabilidad (productor, finca, fecha de recolección, etc.) simplemente escaneando el código con su Smartphone.

El autor desarrolla una Prueba de Concepto (PoC), la cual es un proceso para determinar si una idea de proyecto Blockchain puede ser viable en una situación de mundo real. Una vez

realiza la prueba y concluye, remarca la cantidad de beneficios que puede aportar la tecnología Blockchain. Según él, todos los datos y transacciones efectuadas en la cadena son registrados en la Blockchain, la cual es gestionada a través de Contratos Inteligentes. Este sistema demuestra ser más eficiente, seguro, transparente y evita intermediarios, lo cual hace reducir los costes para los cooperativistas a la vez que genera mayor confianza en los distribuidores, supermercados y consumidores.

A su vez detalla que se encontraron varias limitaciones para la PoC. En primer lugar, la cantidad de datos que se comparten es muy limitada. Como en la mayoría de los pilotos PoC, el proyecto no puede llegar a demostrar cómo funcionaría cuando se llegara a manejar una gran cantidad de transacciones. Además, la PoC solo se centró en un Contrato Inteligente cuando en la práctica se necesitarían implementar múltiples Contratos Inteligentes para las diferentes relaciones contractuales. Por último, el autor también hace hincapié en que los errores que se han repetido en el diseño del Contrato Inteligente han demostrado que las pruebas, la validación y la semántica rigurosa son esenciales para evitar daños significativos en las relaciones comerciales.

Destaca que encontramos tres tipos de beneficios mayoritarios con la aplicación de la Blockchain. El beneficio de la gestión de trazabilidad, debido a que gracias a la confianza en el sistema Blockchain, toda la información agroalimentaria de la cadena de suministro es transparente y abierta, por lo que, por ejemplo, la empresa logística podría implementar un seguimiento a tiempo real para los productos agroalimentarios. El beneficio para mejorar la credibilidad de la información sobre seguridad agroalimentaria, puesto que al utilizar Blockchain, este sistema de trazabilidad elimina la necesidad de una organización centralizada de confianza y proporciona una plataforma de información para todos los miembros con apertura, transparencia, neutralidad, fiabilidad y seguridad.

El último beneficio es la lucha contra productos falsos. Los datos de información de cualquier producto se podrían encriptar vinculando el producto con un identificador, lo que podría proteger al producto de la falsificación. Al no necesitar ninguna operación manual para llevar a cabo este proceso, disminuye en gran medida los errores causados por factores humanos. Además, al utilizar la tecnología Blockchain, los miembros de este sistema no pueden manipular la información, lo que aumenta aún más la seguridad del producto.

En resumen, el autor indica que la tecnología Blockchain es una tecnología prometedora para la competitividad de las cooperativas en este caso y que el futuro próximo mostrará si la tecnología Blockchain se convierte en una forma segura y transparente que aporte un valor diferencial a las cooperativas agrícolas.

Otro caso parecido es detallado por Salah et al., (2019) donde es analizada la CS de la

producción de las semillas de soja y se plantean arquitecturas y algoritmos basados en la Blockchain para analizar las mejoras de esta tecnología respecto a la trazabilidad.

La solución que se propone está basada en la Blockchain Ethereum y usa Contratos Inteligentes para trazar, monitorear y realizar todas las transacciones de soja que se dan en la CS. Esta propuesta elimina la necesidad de una autoridad centralizada y provee integridad y seguridad al proceso. La Figura 11 ilustra una visión general de la arquitectura que es propuesto para este caso.

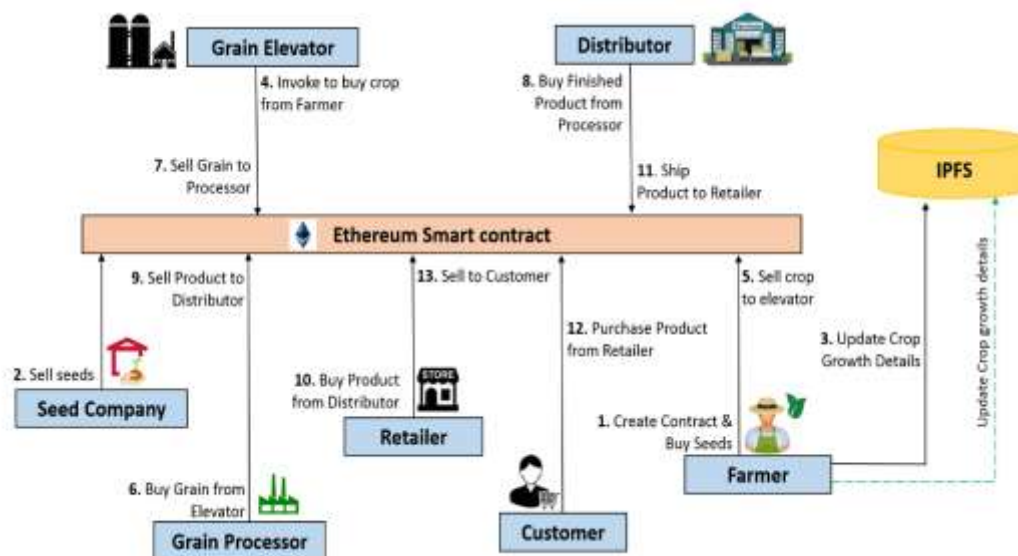


Figura 11:Arquitectura general de la cadena propuesta. Fuente: Salah et al., 2019

Como se puede apreciar en la figura, los agentes que toman parte en la CS son la compañía de semillas, los agricultores, los silos, los procesadores de granos, el distribuidor, el minorista y el cliente final quien es el que tiene el EVM (Ethereum Virtual Machine), es decir, el entorno donde los Contratos Inteligentes son ejecutados.

El proceso comienza en la compañía de semillas, cuando la empresa misma guarda en la Blockchain todos los detalles de la germinación de las semillas; como la composición química, la calidad, la viabilidad y la inactividad. Después el agricultor compra las semillas de la compañía de semillas y empieza a cultivarlo. Los detalles del cultivo son guardados en intervalos de tiempo por el agricultor en la Blockchain. Cuando lo cultiva, el agricultor almacena el cultivo en los silos donde obtiene y guarda mediciones en la Blockchain como la temperatura, la humedad, etc. que pueden afectar al cultivo cuando este almacenado.

Después la soja es movida comprada por el procesador de granos que hace el refinado y analiza la calidad del grano, eliminando humedad y preparando el producto final. El distribuidor compra este producto del procesador para así vendérselo a compradores

minoristas, los cuales serán los responsables de vender este producto final al cliente final.

En la Blockchain propuesta todas las imágenes, datos y registros están firmadas digitalmente y atribuidas a algún agente que participe en la CS. Esto significa que por ejemplo en el caso de que el agricultor suba fotos de los productos a la BC, él es el propietario de dicha acción lo cual le hace responsable de subir fotos fraudulentas o inapropiadas. La Blockchain mediante Contratos Inteligentes puede ser programada para que imponga sanciones de una manera automática a agentes que hagan este tipo de actividades fraudulentas. Otra opción, sería la de instalar cámaras en el campo con conexión a la red que pudiese automáticamente sacar fotos y mandarlos a la Blockchain para que fueran guardados y registrados automáticamente.

Por otro lado, una de las industrias donde mayores posibilidades de crecimiento tiene la tecnología Blockchain es la farmacéutica como lo explica Tseng et al., (2018). Se presenta una cadena de bloques propia llamada GCOIN para que sea aplicado en la industria farmacéutica con el fin de mejorar la calidad y trazabilidad.

La industria farmacéutica está lo suficientemente madura en términos logísticos para poder implementar una tecnología Blockchain. Esto es debido a que, en los últimos años gracias al software y al hardware desarrollado, la trazabilidad de los productos se ha visto mejorada mucho. Tecnologías como la RFID han hecho posible recolectar información en cada paso de la CS de una manera eficiente.

Por otra parte, se ve un gran potencial de mejora con el uso de la Blockchain porque esta puede ser encriptada, distribuida y tiene características de inmutabilidad. Esta acción ayudaría a evitar problemas de calidad del producto y mercado negro que a día de hoy en ocasiones siguen pasando en países desarrollados (Taiwan Food and Drug Administration, 2017).

Con esta premisa, los autores definen una Blockchain llamada GCOIN como futura solución a los problemas planteados previamente. Para un mejor uso y regulación de la GCOIN se propone que haya cuatro agentes involucrados en la cadena: la empresa manufacturera, las agencias gubernamentales, los mayoristas de los hospitales y los pacientes finales. Todo esto puede apreciarse en la Figura 12.

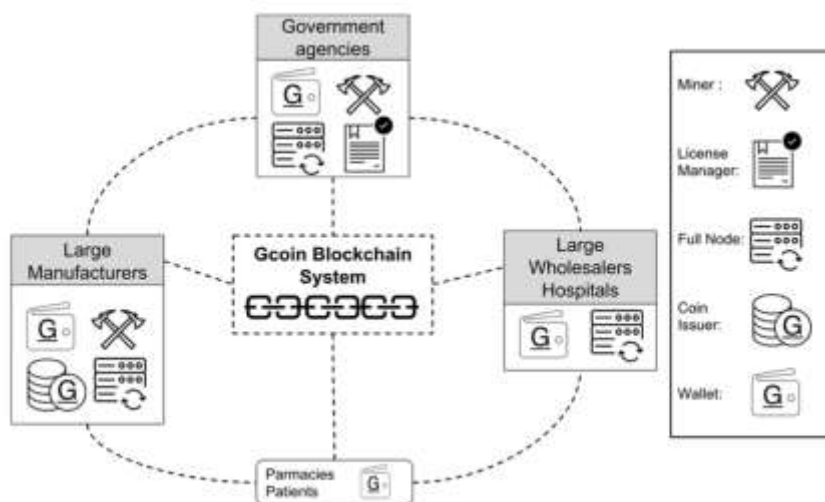


Figura 12: Esquema de la GCOIN. Fuente: Tseng et al., 2018

Para no saturar la plataforma todos menos los pacientes finales tendrían los nodos para poder tener una copia de los datos. Respecto al minado, solo los nodos del gobierno y de las industrias podrían minar los bloques, limitando así el acceso a los mayoristas. Por otra parte, el gobierno es el único que puede proveer licencias para que así el proceso esté libre de cualquier mercado negro. Por último, como se aprecia en la Figura 12 todos los agentes tendría acceso a una cartera virtual para así permitir que todos los agentes tengan la capacidad de hacer transacciones.

Con la estructura desarrollada, este informe plantea el siguiente flujo de trabajo para la GCOIN como puede verse en la Figura 13.

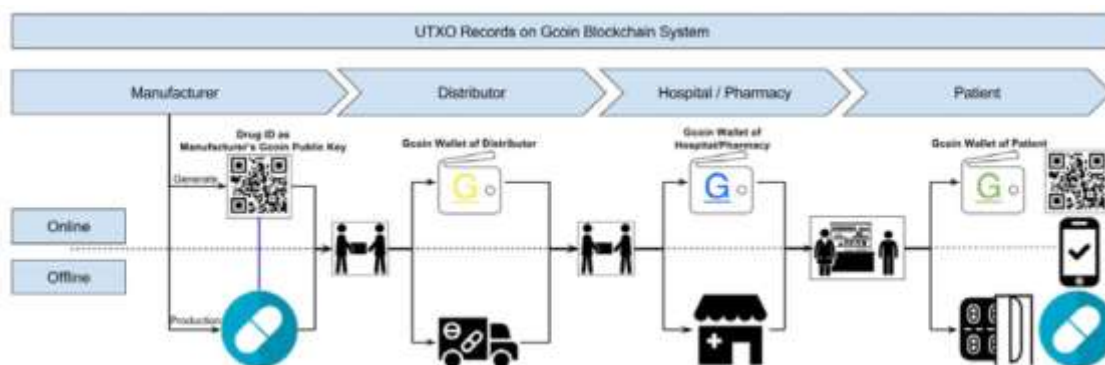


Figura 13: Flujo de Trabajo de la GCOIN. Fuente: Tseng et al., 2018

Cuando se produce un medicamento se genera un número de identificación que es añadido a la cadena, la cual será el ID del producto manufacturado. Este ID tendrá en sí todos los datos de la producción guardados como la marca de tiempo, la ubicación, nombre

el producto, etc. los cuales podrán ser revelados en cualquier punto de la CS para analizar su trazabilidad. Una vez este producto pase a manos del distribuido/mayorista este producto pasará a la cartera de este. Haciendo una comparación con el Bitcoin, sería como darle al distribuidor 1 moneda Bitcoin cuando en realidad esa moneda representa un objeto físico como puede ser un medicamento. De esta manera y mediante Contratos Inteligentes, cuando el producto vaya pasando de productor, a distribuidor, como a farmacia o usuario final, además de mover este producto físicamente, irá moviéndose de una cartera virtual a otra. El usuario final podrá hacer esta compra mediante su Smartphone y también será capaz de ver el stock de la farmacia antes de hacer esta compra.

Niu y Li (2019) investigan las mejoras que podría tener la tecnología Blockchain en la CS en general. A lo largo del estudio clasifican tres grandes problemas que se dan en las CS hoy en día, entre las cuales se encuentra la débil trazabilidad. Esto es generalmente porque la trazabilidad de bienes todavía se hace de manera manual en muchos procesos de la CS. El seguimiento de los bienes suele depender de la fortaleza de las medidas de supervisión de la empresa central, y si el flujo de información entre el agente central y diferentes agentes que componen la CS no es la adecuada, la trazabilidad suele ser complicada e inexacta (Niu y Li, 2019).

Para hacer frente a esta situación, se entiende que, mediante el uso de técnicas de la Blockchain, se puede registrar un proceso completo de recopilación y entrega de información (Niu y Li, 2019). Además, la información de las transacciones en estos procesos suele tener las características que los agentes de la cadena mantienen y no pueden ser manipulados. Previniendo así de una manera efectiva la pérdida de información logística y otros problemas relacionados.

Por otro lado, para el caso de las empresas que tienen una logística multimodal, los datos de transacción generados durante el proceso de transporte logístico se suelen perder fácilmente si hay múltiples transferencias de transportista (Niu y Li, 2019). Sin embargo, si se aplicase una red Blockchain, se podrían garantizar el intercambio de transacciones y la integridad de la información entre diferentes operadores, según el estudio desarrollado por los autores.

Tijan et al., (2019) por otro lado, analizan el impacto que puede llegar a tener la tecnología Blockchain en la logística en general. Para ello analizan documentos académicos y comerciales, además de casos reales de aplicaciones Blockchain en la CS.

Después del análisis, una de sus conclusiones se basa en que el uso de RFID y la tecnología Blockchain en la construcción de un sistema de trazabilidad de una CS crítica como puede ser la agroalimentaria, puede permitir la trazabilidad con información confiable en toda la cadena de suministro, lo que garantizaría efectivamente la seguridad alimentaria,

al reunir, transferir y compartir los datos de agroalimentación auténticos en producción, procesamiento, almacenamiento, distribución y venta de enlaces.

Uno de los estudios más completos que se han analizado respecto a la trazabilidad es la de Figorilli et al., (2018) donde se desarrolla un prototipo de cadena Blockchain de código abierto para llevar una trazabilidad electrónica de la madera a lo largo de toda la CS.

En este caso también, los autores analizan los beneficios de la tecnología Blockchain con el uso de etiquetas RFID. Los autores ven posible necesidad de llevar una trazabilidad y control de la calidad de la madera en Italia, puesto que se entrevistó a una gran cantidad de fabricantes de madera y el 30% de ellos estaba de acuerdo que pagaría un 2.40% de más por madera de procedencia y calidad certificada, cuando el 19% de estos llegaría a pagar incluso más de un 2.68% del precio final (Paleto, 2018).

Para ello desarrollan toda la arquitectura de la Blockchain mediante el workbench Azure, el cual es un servicio desarrollado por Microsoft para poder llevar adelante proyectos de Blockchain iniciales. Además de esto, desarrollaron una aplicación llamada SmartTree (como se puede ver en la Figura 14) para la recolecta de datos en la CS de la madera y dar apoyo a las operaciones de campo, dando a los operadores una simple e intuitiva herramienta para sus smartphones. Además, como hemos visto previamente en Vilkov et al., (2019) en este caso también se plantea la posibilidad de controlar mediante GPS la ubicación donde se tala la madera para más adelante procesarla y así poder tener un mayor control del producto.



Figura 14: Capturas de la aplicación SmartTree. Fuente: Figorilli, 2018

Los autores llevaron a cabo una prueba experimental en el año 2017 en Italia de la cual pudieron ver que hay muchos aspectos diferentes que deberían discutirse considerando las ventajas en la introducción de una trazabilidad electrónica en la CS de productos de madera. En primer lugar, la posibilidad de un monitoreo global georreferenciado en tiempo

real, realizado por administradores forestales, sobre el estado de las operaciones, como la asignación de madera a cortar y el flujo de información de las operaciones resultantes a realizar. Otros aspectos importantes que podrían beneficiarse de una evaluación temprana de la madera podrían ser la posibilidad (antes de las operaciones administrativas de subasta) de definir con precisión las áreas de interés y las cantidades que se cortarían (incluido el tamaño y las especies) de los lotes que llegarán al mercado. Además, el sistema ofrecería la posibilidad inmediata de detectar y subrayar la presencia (incluso un árbol minoritario o singular) de cualquier material de valor particular (por ejemplo, en términos de tamaño, calidad y/o especie). Además, la trazabilidad electrónica de la madera, con la introducción de la tecnología Blockchain, brinda la oportunidad de extraer información del origen de la madera en caso de que hubiese algún problema de calidad y localizar con gran facilidad el lote afectado como la zona donde se taló el árbol.

Por último, Lu y Xu (2017) declaran que a día de hoy los proveedores y minoristas de productos solicitan servicios de trazabilidad para diferentes propósitos. Los proveedores desean recibir certificados para mostrar el origen y la calidad de sus productos a los consumidores y cumplir con las regulaciones. Los minoristas desean verificar el origen y la calidad de los productos.

Para analizarlo, plantean un estudio de caso donde desarrollan una Blockchain llamada OriginChain con la estructura que se puede ver en la Figura 15.

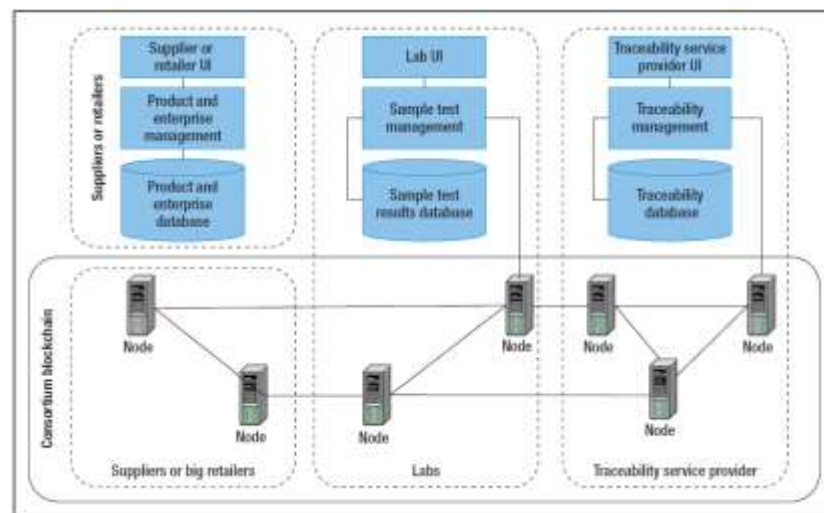


Figura 15: Estructura de OriginChain. Fuente: Lu y Xu, 2017.

OriginChain actualmente emplea una cadena de bloques privada distribuida geográficamente en el proveedor de servicios de trazabilidad, que tiene sucursales en tres países. El plan es establecer una plataforma de trazabilidad confiable que cubra otras organizaciones, incluidos laboratorios certificados por el gobierno, grandes proveedores y

minoristas que tienen relaciones a largo plazo con la empresa (como las empresas de comercio electrónico que ya han construido su reputación entre los clientes).

Como muestra la Figura 15, los proveedores o minoristas de productos administran la información del producto o de la empresa a través del módulo de administración de productos y empresas (Product and Enterprise management). Acceden a la información en la cadena de bloques a través de un servidor web alojado por OriginChain. En el futuro, los proveedores y los grandes minoristas que alojan un nodo por sí mismos podrían acceder a sus propios nodos para obtener información sobre la cadena de bloques. Después de que el proveedor de servicios de trazabilidad valide una solicitud de un proveedor o minorista de productos sobre la base del papeleo, las dos partes firman un acuerdo legal sobre qué servicios de trazabilidad están cubiertos. OriginChain genera un Contrato Inteligente que representa el acuerdo legal. El contrato inteligente codifica la combinación de servicios y otras condiciones definidas en el acuerdo. Por lo tanto, el contrato inteligente puede verificar y hacer cumplir automáticamente estas condiciones. De esta manera toda la información de los procesos a lo largo de la CS puede quedarse registrada en OriginChain, posibilitando trazar cualquiera de los productos que hayan pasado por ella.

Como recalcan Lu y Xu (2017) los procesos de trazabilidad en la gestión de la cadena de suministro son complejos y dinámicos porque involucran a múltiples partes. Una cadena de bloques proporciona un terreno neutral que debería ayudar a integrar a los participantes dispares en esos procesos. Además, la integridad y la inmutabilidad de la cadena deberían mejorar la transparencia y la confianza en todos los procesos.

Se puede ver un resumen de los artículos analizados en este apartado en la Tabla 4.

Referencia	Tipo de Clasificación
Figorilli et al., 2018	Estudio de Caso
Harshavardhan et al., 2019	
Lu y Xu, 2017	
Tseng et al., 2018	Marco Teórico
Vilkov y Tian, 2019	
Liao y Xu, 2019	
Niu, X., Li, Z., 2019	
Tijan et al., 2019	
Madhwal, Y., Panfilov, P., 2017	Prueba Experimental
Salah et al., 2019	
Borrero, Juan Diego, 2018	

Tabla 4: Tabla resumen de los artículos analizados respecto a la trazabilidad.

5.2. Aplicaciones Industriales

A pesar de que la trazabilidad es un aspecto que ha tenido en cuenta casi el total de los documentos analizados, encontramos algunos que han tenido un enfoque más industrial donde se han hecho pruebas reales y medibles en procesos de producción y transformación.

Fernández-Caramés (2019) desarrolla, analiza y pone a prueba una cadena Blockchain con la ayuda de la Big Data y UAV (Unmanned Autonomous Drive, comúnmente conocidos como drones). La hipótesis se basa en que un UAV con ayuda de la tecnología Blockchain podría reducir el coste de trabajos tediosos y repetitivos de almacén a la vez que dar una trazabilidad y transparencia de la CS mejorada.

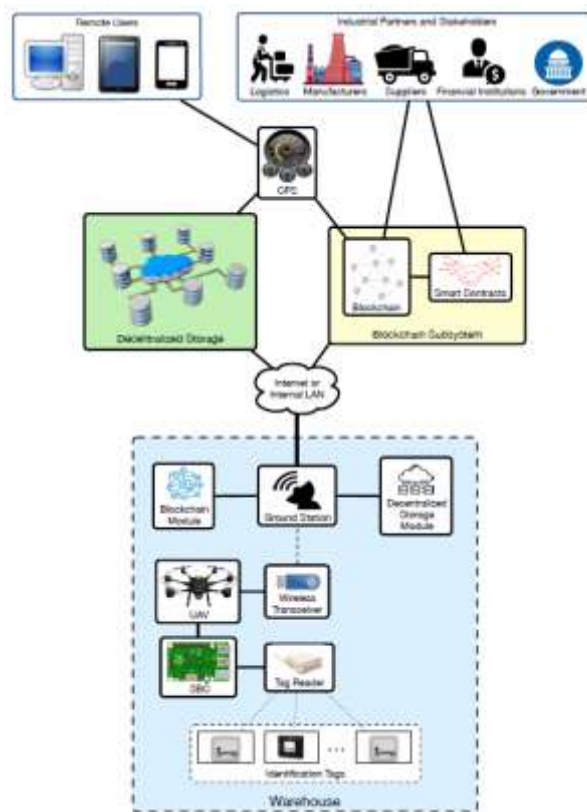


Figura 16: Estructura de las conexiones con la Blockchain. Fuente: Fernández-Caramés, 2019

El planteamiento que los autores desarrollan se puede ver en la Figura 16. En dicha arquitectura, un UAV lleva una computadora de placa única (SBC) y un lector de etiquetas. El lector de etiquetas se utiliza para recopilar datos de etiquetas inalámbricas que se adjuntan a los elementos que se van a inventariar o rastrear. Con respecto al SBC, recopila datos de etiquetas del lector de etiquetas, los procesa y los envía a través de una interfaz

de comunicaciones inalámbricas a una estación terrestre. Estas UAV se dedican a obtener la información de inventario analizando lo que hay en el almacén y guardándolo en la Blockchain, para así saber en qué lugar del almacén se ubica cada objeto.

Los primeros test que realizaron los autores fueron con el objetivo de determinar cuán rápido se podría obtener la información de inventario con la metodología propuesta en comparación a la de un operario común. En la Figura 17 podemos ver el porcentaje de códigos leídos que obtuvieron los autores con 4 test diferentes. Estos 4 test son realizados con la UAV, lo único que cambia de uno a otros es el recorrido que se realizó en cada uno que fue totalmente aleatorio.

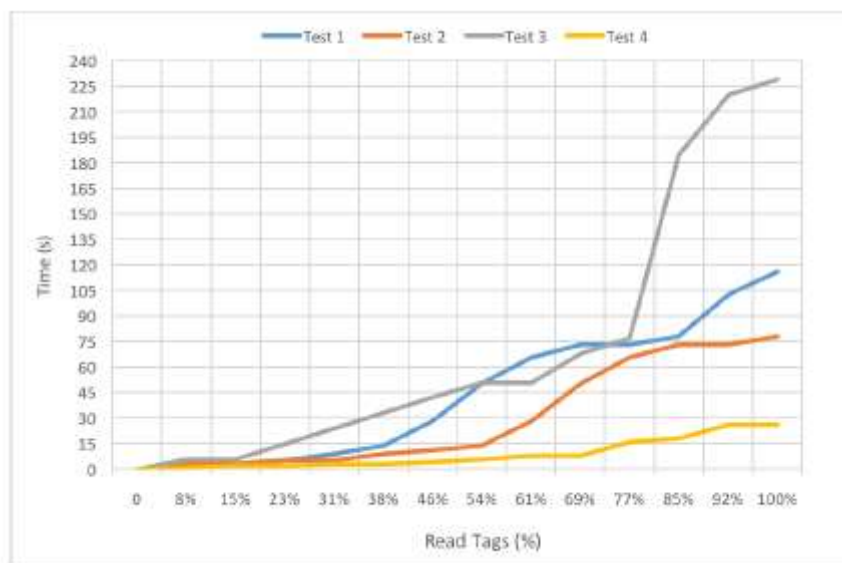


Figura 17: Resultados de los 4 test de inventario. Fuente: Fernández-Caramés, 2019

La diferencia entre los tiempos de cada test viene precedida porque en cada uno de ellos se realizó un recorrido aleatorio diferente, demostrando que con un recorrido optimizado el tiempo de obtención de inventario puede llegar a disminuirse. Además, los autores comparan el tiempo necesario para realizar dichas acciones con el tiempo medio que tarda el operario en realizar la misma acción, enseñando un claro ahorro de tiempo usando el UAV.

Los autores concluyen que el sistema propuesto es capaz de coleccionar y procesar información del inventario a tiempo real y mandarlo a la Blockchain y a una red descentralizada de almacenamiento para proveer una ciberseguridad mejorada. Además, el sistema es capaz de usar Contratos Inteligentes para automatizar ciertos procesos sin la necesidad de intervención humana.

Otro de los documentos que desarrollan Fraga-Lamas y Fernández-Camarés (2019) es la

aplicación de la tecnología Blockchain en la industria automovilística, la cual es considerada una de las más complejas, sofisticadas y tecnológicamente avanzadas actualmente.

La cualidad más interesante de la tecnología Blockchain lo encuentran en la seguridad que puede ofrecer. Conceptos como la inmutabilidad, gestión de la identidad, gestión del acceso a datos, privacidad, descentralización, etc. son mejoras que pueden significar una gran diferencia a parecer de los autores. En la Figura 18 se puede ver un resumen de las mejoras de seguridad planteadas.

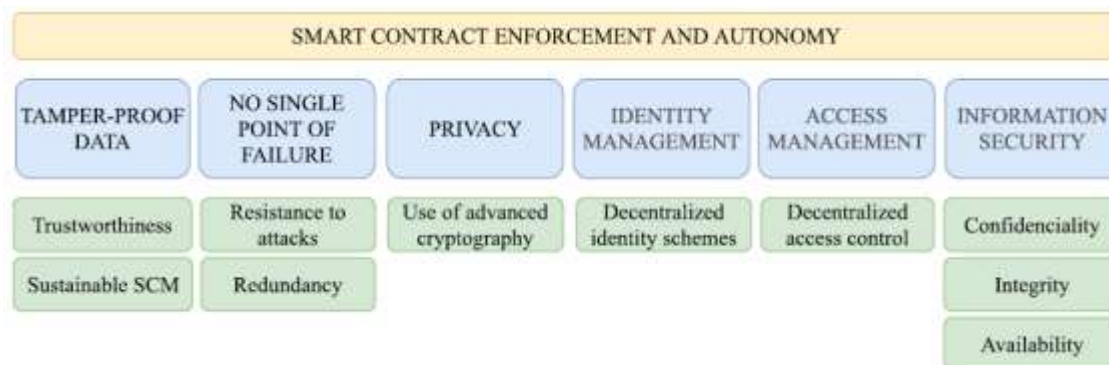


Figura 18: Posibles mejoras de la Blockchain en la Industria Automovilística. Fuente: Fraga-Lamas, 2019.

Los autores realizan un análisis SWOT para evaluar la aplicabilidad de la tecnología Blockchain basado en sus Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas. Como puntos clave entre sus fortalezas además de las relacionadas con la seguridad podemos encontrar la eficiencia operacional junto con la reducción de errores humanos, puesto que la tecnología Blockchain es capaz de desarrollar Contratos Inteligentes que no necesitan la autorización de ningún humano y pueden llevar a cabo operaciones de una manera mucho más automatizada. La trazabilidad mejorada y la transparencia son puntos en los que los autores hacen hincapié, entendiéndolos como características claves para poder mejorar cualquier tipo de CS. En el apartado de las debilidades, la falta de escalabilidad y el alto consumo energético cogen gran protagonismo, siendo estos los mayores retos que deben ser afrontados a día de hoy a la vez que la complejidad y falta de proyectos reales en el mercado actual.

Cuando los autores hablan de las oportunidades de la tecnología Blockchain, entienden que puede ser una ventaja competitiva industrial que puede hacer competir a empresas que se estaban quedando atrás, debido a la reducción de costes, mejora de ciberseguridad, posibilidad de automatizar el IdC, etc. Además, al ser una red descentralizada existe una oportunidad de tener una red mucho más estable y segura, consiguiendo así que toda la información sea accesible todo el tiempo. Por último, se consideran los mayores riesgos las barreras institucionales debido a que la tecnología es

muy novedosa todavía y la necesidad de hacer una gran inversión a medio o largo término.

Se concluye con la percepción de que la transición a la Big Data y tecnologías como la Blockchain pueden crear disrupciones como el que supuso la creación de Internet. En este ecosistema tan complejo, según los autores el uso de la Blockchain puede proveer a la industria automotriz una plataforma capaz de distribuir y con una gran ciber-resiliencia que puede hacer frente a futuras adversidades. A pesar de esto coinciden en que se debería de hacer una prueba real para poder sacar datos y analizar cuantitativamente las mejoras obtenidas de dicha tecnología.

Los mismos autores (Fraga-Lamas y Fernández-Camarés, 2019) analizan también los beneficios y desafíos que surgen cuando es usada la tecnología Blockchain y los Contratos Inteligentes para desarrollar aplicaciones de la Industria 4.0.

Se entiende que la tecnología Blockchain, a pesar de ser una tecnología novedosa y prometedora, no es la solución de todos los problemas. Es decir, puede haber casos en los que a las empresas no les interese invertir ahora mismo en implantar dicha tecnología con el objetivo de seguir acercándose a la Industria 4.0. El primero de los aspectos a tener en cuenta es si la descentralización (i.e. cuando los diferentes elementos de la CS están conectados mediante una red P2P de ordenadores en vez de ser una sola máquina) es de verdad necesaria para la empresa (Lo, 2017). No todas las Industrias 4.0 necesitan descentralización, aunque puede que algunas puedan sacar provecho de ello especialmente cuando hay un sistema centralizado en el que no se confía. Es decir, esta situación suele darse en industrias donde no suele haber mucha confianza con el proveedor, con los bancos o incluso las agencias gubernamentales. Por lo demás, si se tiene confianza entre las entidades, no hay necesidad de la tecnología Blockchain (Lo, 2017).

El segundo aspecto que detallan es el uso de comunicaciones P2P para compartir datos entre diferentes agentes envueltos en los procesos industriales. Esta manera de comunicación es muy común en ciertas arquitecturas IIoT (Internet de las Cosas Industriales) donde los nodos colaboran entre ellos para detectar eventos específicos o realizar tareas (Preden, 2015). Esta tecnología normalmente no suele ser posible implementarlo de una manera eficiente debido a la alta cantidad de recursos y energía que requiere. Es por esto que, si los dispositivos de la industria no usaban ya de antes la tecnología P2P para comunicarse, no sea de interés implementar la Blockchain (Preden, 2015).

El último aspecto a detallar por los autores es que el sistema distribuido debe ser robusto. Actualmente se pueden encontrar buenas alternativas proporcionadas por granjas o servicios cloud, por lo tanto, debe haber una razón de peso para justificar la intención de

implementar la Blockchain (Barhamgi, 2018). La razón más común suele ser la falta de confianza en la organización que maneja la infraestructura a la vez que datos de alta confidencialidad son guardados en dichas infraestructuras.

Para simplificarlo, Fraga-Lamas y Fernández-Camarés (2019) plantean un diagrama de flujo que puede ser usado como guía general para decidir si es apropiado usar tecnología Blockchain en una Industria 4.0.

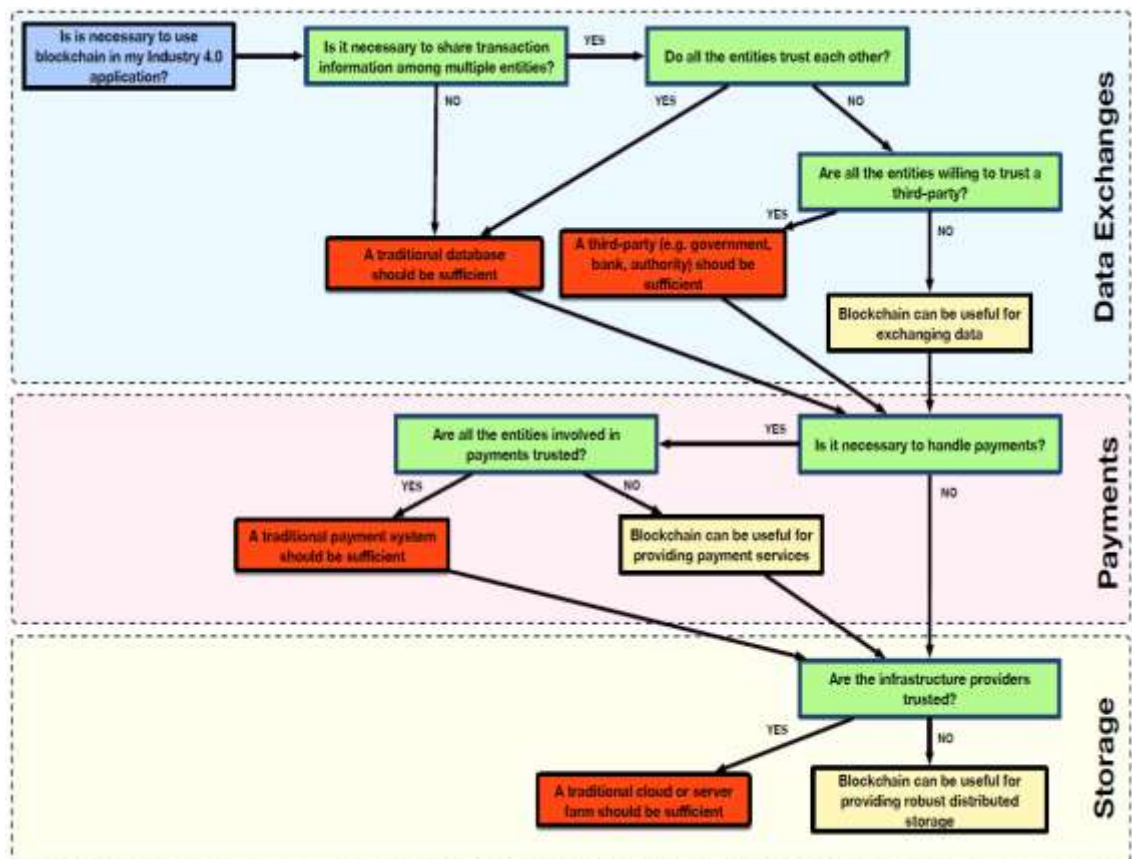


Figura 19: Diagrama de Flujo para la Blockchain. Fuente: Fraga-Lamas, 2019.

Por otro lado, y a pesar de que algunas industrias no estén preparadas para implantar la tecnología Blockchain, según los autores las tecnologías de la Industria 4.0 se pueden beneficiar del uso de la Blockchain para hacer frente a 4 retos que suelen tener a la hora de implementarlos (Deloitte, 2014).

1. Una fábrica con Industria 4.0 necesita tener redes para conectar verticalmente sistemas de producción inteligentes. En una Smart Factory (o fábrica inteligente), una conexión vertical es un tipo de conexión entre dos entidades que participan en la cadena de valor del producto. Por lo tanto, cuando dicha conexión es automatizada, la información puede ser recolectada y enviada automáticamente a

todos los sistemas relevantes para la cadena de valor de la planta. La Blockchain puede ayudar en esa integración vertical asegurando la integridad de los datos.

2. Las tecnologías de la Industria 4.0 también tienen que estar integradas horizontalmente, lo cual implica que los fabricantes, proveedores y clientes deben cooperar. Tal nivel de integración requiere una red de comunicación flexible, para que la Blockchain y los Contratos Inteligentes puedan convertirse en mecanismos de integración horizontal para las entidades involucradas en la Industria 4.0. Además, respecto a las comunicaciones entre clientes y compañías, estos se pueden dar mayoritariamente mediante dispositivos IIoT (e.g. vehículos inteligentes, maquinaria inteligente) y redes sociales, de los cuales la seguridad es esencial para que así puedan interactuar mediante Blockchain.
3. Las fábricas de la Industria 4.0 requieren integrar dinámicamente fases de diseño e ingeniería a lo largo de su cadena de valor. El objetivo de la integración de la Blockchain es habilitar reacciones rápidas al feedback recibido desde diferentes agentes que toman parte de la CS. Por lo tanto, los Contratos Inteligentes pueden acelerar tareas burocráticas y la Blockchain ser usada para llevar a cabo dichas interacciones.
4. La Industria 4.0 promueve el uso de diferentes tecnologías que cambiarán la manera en la que diferentes agentes interactúan entre ellos y su entorno. La Blockchain puede actuar como un núcleo de intercambio de información donde sus usuarios, los cuales son independientes tecnológicamente, solo tienen que implementar la funcionalidad necesaria de su red Blockchain.

A pesar de ver que la tecnología Blockchain puede ser clave para el buen desarrollo de la Industria 4.0, Fraga-Lamas y Fernández-Caramés (2019) detectan los mayores retos que hoy en día tienen los proyectos de tecnología Blockchain a la hora de implementarlos en la Industria 4.0.

Escalabilidad. Las arquitecturas que sostendrán las aplicaciones de la Industria 4.0 basadas en la tecnología Blockchain deberán ser capaces de soportar el tráfico de datos que dichas aplicaciones generarán (Preden, 2015).

Criptosistemas para dispositivos con restricción de recursos. Varios dispositivos que se usan en fábricas de Industria 4.0 (sensores, herramientas, etc.) tienen una capacidad computacional muy limitada, por lo que podrían tener problemas con las llaves criptográficas (Li, 2017).

Selección del algoritmo de consenso. Debido a que el algoritmo de consenso es

esencial para un correcto funcionamiento de la Blockchain, debe ser seleccionado con mucho cuidado. Además, a pesar de que el minado es muy útil en escenarios de redes públicas, no es indispensable para todos los escenarios ahorrando así esfuerzo computacional y energía consumida por dicho algoritmo.

Privacidad y Seguridad. La certificación de la identidad y la integridad de los datos son todavía problemas que han de ser analizadas a fondo, especialmente para dispositivos con restricción de recursos.

Eficiencia energética, rendimiento y latencia. En el caso de la eficiencia energética, el uso de minado, protocolos P2P ineficientes y algoritmos criptográficos complejos tiene un gran impacto en el consumo de energía de cada escenario, teniendo en cuenta cuan crítico puede ser este aspecto en dispositivos usados que funcionan mediante baterías. Respecto al rendimiento y la latencia, estos son influenciados por cómo funciona el algoritmo de consenso y como los bloques son añadidos a la Blockchain. De hecho, ambos factores generalmente aumentan la latencia y reducen notablemente el rendimiento comparado con, por ejemplo, el sistema tradicional de bases de datos, por lo que puede ser difícil proporcionar respuestas en tiempo real a eventos.

Infraestructura requerida. El uso de la tecnología Blockchain requiere un despliegue específico de hardware, como puede ser almacenamiento adicional o hardware para el minado. Es más, al esperar un alto tráfico de datos mediante comunicación P2P, es necesario que la infraestructura de comunicación sea capaz de soportar dicha carga.

Gestión de multicadenas. La proliferación de las Blockchain podría requerir a las compañías la gestión de varias cadenas a la vez. Por ejemplo, una empresa podría gestionar sus transacciones financieras mediante el Bitcoin, mientras que los Contratos Inteligentes son llevados a cabo con Ethereum. Por lo tanto, las soluciones planteadas deberán de estar diseñadas para poder usar ambas Blockchains a la vez.

Interoperabilidad y Estandarización. Actualmente la mayoría de compañías desarrollan su propia Blockchain, pero la interoperabilidad entre ellas es necesario en varios escenarios para conseguir una integración perfecta. Algunas entidades como el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) llevan tiempo trabajando en estándares específicos con el objetivo de garantizar una interoperabilidad en diferentes campos (IEEE, 2019).

Aspectos legislativos y legales. Además de todos los retos tecnológicos que se han mencionado previamente, es también necesario prestar atención a las nuevas legislaciones y leyes que están siendo desarrolladas por los gobiernos y agencias reguladoras. Por ejemplo, la Unión Europea puso en marcha en febrero del 2018 el Observatorio y Fórum de la Blockchain, del cual el objetivo principal es descubrir las iniciativas más importantes,

monitorear los desarrollos y llevar a cabo acciones comunes a nivel europeo (EU, 2019).

La Industria 4.0 es un paradigma que cambia constantemente la manera en la que las fábricas actuales funcionan. La tecnología Blockchain, probablemente, será una de estas tecnologías que harán revolucionar la industria dando mayor seguridad, confianza, inmutabilidad, descentralización y automatización mediante contratos inteligentes.

Otra aplicación industrial es la propuesta en Madhwal y Panfilov (2017), para la fabricación de aviones. En la industria aeronáutica los niveles de calidad requeridos son notablemente superiores a la mayoría de otras industrias. Esto es debido a que se debe minimizar al máximo los posibles fallos de calidad en piezas de aeronaves, puesto que cualquier fallo podría suponer la vida de muchas personas. Madhwal y Panfilov (2017) proponen una Blockchain que pueda proveer de las siguientes características:

- **Interoperabilidad:** Cada segmento o pieza individual producida, se habilitará con sensor o identificación especial, lo que ayudará a las diferentes fases de producción a conectarse y comunicarse entre sí.
- **Transparencia de la Información:** Capacidad para mostrar los procesos individuales en cada nivel, por ejemplo, si se realizan cambios en cualquier nivel de esta cadena, todos los usuarios se actualizarán con el cambio con nuevos detalles.
- **Asistencia Técnica:** Esto permitiría ayudar a los sistemas a apoyar al individuo en la cadena agregando y visualizando información de manera comprensible para tomar decisiones informadas, planificar el futuro y resolver problemas rápidamente.
- **Decisiones Descentralizadas:** Permitir a las empresas individuales tomar su propia decisión y realizar su tarea.

Además, también recalcan el uso de los Contratos Inteligentes para poder conseguir un mayor nivel de automatización y optimización de recursos. Con el objetivo de explicar cuál sería el funcionamiento de la Blockchain planteada y enseñar que, al compartir la información entre los usuarios y las plataformas, se pueden conseguir mejoras industriales y económicas, Madhwal y Panfilov (2017) desarrollan el siguiente caso de estudio.

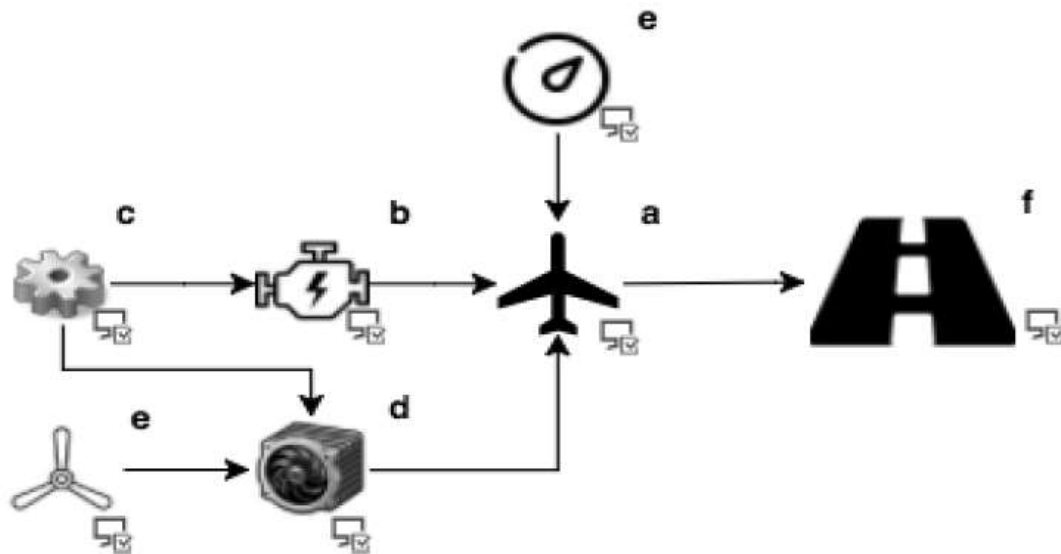


Figura 20: Esquema del ensamblaje. Fuente: Madhwal y Panfilov (2017)

Basándonos en la Figura 20, vemos que se tiene un centro de ensamblaje "a". Estos centros de ensamblaje obtienen las partes de diferentes lugares y son ensamblados manteniendo el avión en el mismo sitio. Este centro es uno de los organismos individuales de la cadena de suministro que adquiere partes como el motor y la turbina de sitios diferentes que en este caso son llamados "b" y "d", respectivamente. Al adquirir y ensamblar una parte, por ejemplo, la turbina en una aeronave en el centro 'a', se actualizaría el libro de transacciones en la Blockchain y en todos los nodos de la red y se indicaría que esa turbina (con su identificación única) junto con otros segmentos se ensamblaron juntos. Además, el mismo avión actuaría como un nuevo producto de identificación única. La Blockchain mantendría el registro de todos los nuevos productos generados en cada nivel, que además estaría integrado con todas las demás operaciones en la Blockchain. Toda esta red también podría funcionar como registro de inventario para compañías individuales junto con detalles de sus productos, que mostrarían los detalles de producción. Es decir, se le podría dar acceso a los proveedores para ver cuál de sus productos ha sido usado en que avión y poder así dar una trazabilidad mayor en el caso de que por ejemplo haya un problema de calidad.

Si se diese el caso de que, en algún proceso de esta cadena un producto es reemplazado o se manipula, esta información no podría ser añadida a los bloques puesto que la manipulación sería detectada, y de esta manera este proceso no se llevaría a cabo. Por ejemplo, esto podría pasar en el caso de que a un avión se le pusiese la turbina errónea o alguna pieza que no es correspondida con su modelo. Esto daría una alerta en la Blockchain y se evitaría el problema que pudiese causar en el futuro.

Una vez que la pieza se ensambla en un avión y sirve para un propósito (comercial, privado, etc.), durante la revisión en cualquier centro de mantenimiento, los ingenieros tendrían un acceso adecuado y fácil para verificar toda la documentación para darle el mejor mantenimiento posible. Este cambio, por lo tanto, reduciría el tiempo y aumentaría la eficiencia del trabajo. Si alguna parte estuviese cerca del desgaste y con necesidad de ser cambiada, esto se indicaría de antemano además de dar la posibilidad de optimizar su rendimiento a los ingenieros.

A pesar de analizar esta industria en concreto, Madhwal y Panfilov (2017) remarcan que las mejoras que puede aportar la Blockchain a la industria aeronáutica, son también interesantes para otras muchas industrias. Madhwal y Panfilov (2017) recalcan también la gran seguridad que ofrece esta tecnología en comparación con las soluciones de IT tradicionales.

Además, con el uso de etiquetas RFID se podría minimizar la posibilidad de prácticas corruptas ya que puede eliminar la participación de terceros y con la información de datos distribuida a través de los compradores de diferentes sectores como defensa en este caso, los compradores privados serían capaces de comprar de una manera mejor regulada. Se puede ver un resumen de los artículos analizados en este apartado en la Tabla 5.

Autor, año	Tipo de Clasificación
Fernandez-Caramés et al., 2019	Estudio de Caso
Madhwal, Y., Panfilov, P., 2017	Prueba experimental
Fraga-Lamas y Fernandez-Camarés, 2019	Marco Teórico
Fraga-Lamas y Fernandez-Camarés, 2019	

Tabla 5: Tabla resumen de los artículos analizados respecto a las aplicaciones industriales

5.3. Transparencia y Reducción de Costes

Otro de los aspectos más destacados e interesantes de la tecnología Blockchain que las cadenas de suministro pueden sacar provecho son su capacidad de transparencia y la posibilidad de aportar una gran reducción de costes.

Zhan et al., (2019) analizan la peligrosa situación de la agricultura en la región de Jilin, China, donde el auge del comercio electrónico ha puesto en peligro la supervivencia de muchos mercaderes y agricultores chinos. Este auge ha llevado al mercado a un sistema de comercio injusto donde los intermediarios entre productor y comprador se llevan la mayor parte del beneficio económico ajustando los precios a los agricultores y vendiendo los productos a precios mucho más elevados. Actualmente, dos empresas multimillonarias (Alibaba y Jingdong) tienen el control de más del 90% del comercio online para la agricultura china, creando así un oligopolio. La tecnología Blockchain parece ser una opción que podría dar una mayor libertad a los agricultores y de esta manera los autores analizan lo que podría suponer su uso y establecimiento.

Los autores proponen un modelo de Customer-to-Manufacturer (Lee, 2019) basado en tecnología Blockchain. Mediante el uso de las características de descentralización, seguridad y confidencialidad de la tecnología Blockchain, combinada con el modelo de comercio electrónico C2M para distribuidores, los autores opinan que se podría conseguir una reducción del coste del producto agrícola a la vez que independencia de terceros para. Para poder llevarlo a cabo, los autores proponen el siguiente funcionamiento de la cadena de bloques:

Paso 1. El productor del producto agrícola utiliza su clave privada para obtener una firma digital para una transacción y un cliente exacto, y adjunta la firma con los datos de la transacción.

Paso 2. El fabricante del producto agrícola transmite la orden de transacción a toda la red y el producto agrícola se envía al cliente. Cada nodo recibirá la información de la transacción.

Paso 3. Cada proceso de transacción crea un bloque al generar una firma digital y espera hasta que el envío es realizado para cerrar el bloque.

Paso 4. Cuando el envío del producto agrícola es finalizado, esta información es transmitida a toda la red, y es verificado por los otros nodos de la red.

Paso 5. Los otros nodos de la red verifican que las transacciones del bloque son correctas y finalmente el bloque es añadido a la cadena.

Los autores también hacen hincapié en que este modelo mejoraría el sistema de pago además de haciéndolo más seguro y fiable, haciendo que sea más rápido. En un sistema tradicional los pagos bancarios pueden llegar a tomar días, pero gracias los Smart Contracts en el caso de la Blockchain, una vez el pedido llegará al comprador el pago sería instantáneo. Además, en caso de que el proyecto escalara al nivel de tener comercio internacional este se convertiría en un aspecto muy beneficioso puesto que las transferencias internacionales suelen tomar entre 3 y 4 días en efectuarse.

Como conclusión ven varias mejoras que podría aportar la tecnología Blockchain con la combinación del modelo de negocio C2M, pero ven que la tecnología está todavía en una fase de “exploración práctica” y que se debería de profundizar más para así poder plantear proyectos en los que se llevara todo el desarrollo tecnológico y la puesta en marcha.

En otro análisis, Harshavardhan et al., (2019) debate también respecto al peligro que sufren las cooperativas y organizaciones agrícolas que están en riesgo debido a la monopolización de grandes compañías y multinacionales. Consideran que en el sistema actual el agricultor vende su producto con un pequeño margen de beneficio al mayorista para así después el mayorista vendérselo al minorista con otro margen. Finalmente, el minorista aplica sus beneficios y vende este producto en el mercado general, creando así una diferencia de precio significativa desde la venta del agricultor hasta llegar al usuario final. Según los autores, esta variación es cada vez más notable obligando así a los agricultores a reducir sus beneficios a mínimos y poniendo en riesgo su supervivencia. Además, en el sistema actual el agricultor es el que debe acercarse al mayorista para poder empezar a vender sus productos, dando así un gran poder de negociación al segundo.

Para ello plantean un sistema el cual está enfocada a reducir el uso de intermediarios y aumentar la escalabilidad del producto mediante la tecnología Blockchain. Este sistema se puede apreciar en la Figura 21 y está compuesta por tres tipos de usuarios activos para la cadena: los consumidores, los minoristas y los transportistas. Los primeros podrían comprar productos con su log in en la cadena y recibirían los productos en casa mediante envío online de una empresa de envíos. También podrían comprar los productos desde la tienda de un minorista sin tener que acceder a la cadena, que estos a su vez tendrían su propio log in y podrían obtener los productos mediante envío de los transportistas o yendo directamente al almacén de los agricultores.

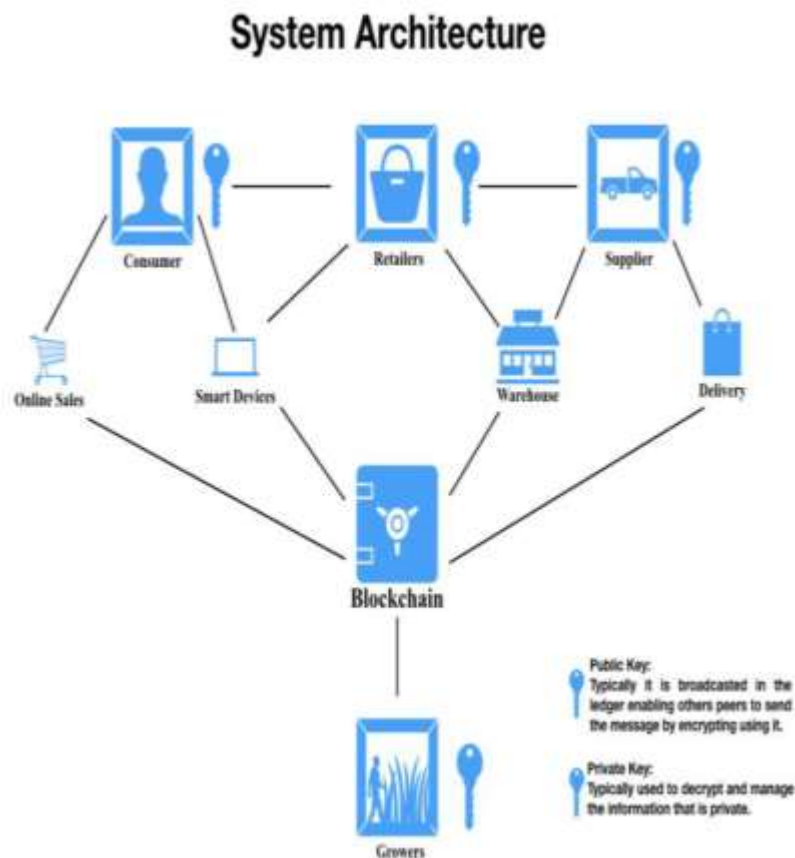


Figura 21: Arquitectura del sistema. Fuente: Harshavardhan et al., (2019)

Por último, los proveedores también tendrían su log in y tendrían el papel de transportar los productos a localizaciones lejanas, como por ejemplo a mercados extranjeros.

De esta manera el mayorista desaparece de la CS dejando mayores márgenes de beneficio a los demás usuarios. Además, todos los usuarios tendrían acceso a la cadena con la información de los costes y precios a lo largo de la CS y en todo momento podrían saber la trazabilidad de su producto.

Los autores hacen estimaciones de lo que supondría este planteamiento usando conjuntos de datos (datasets) de diferentes países y obtenidos desde la Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO, 2019).

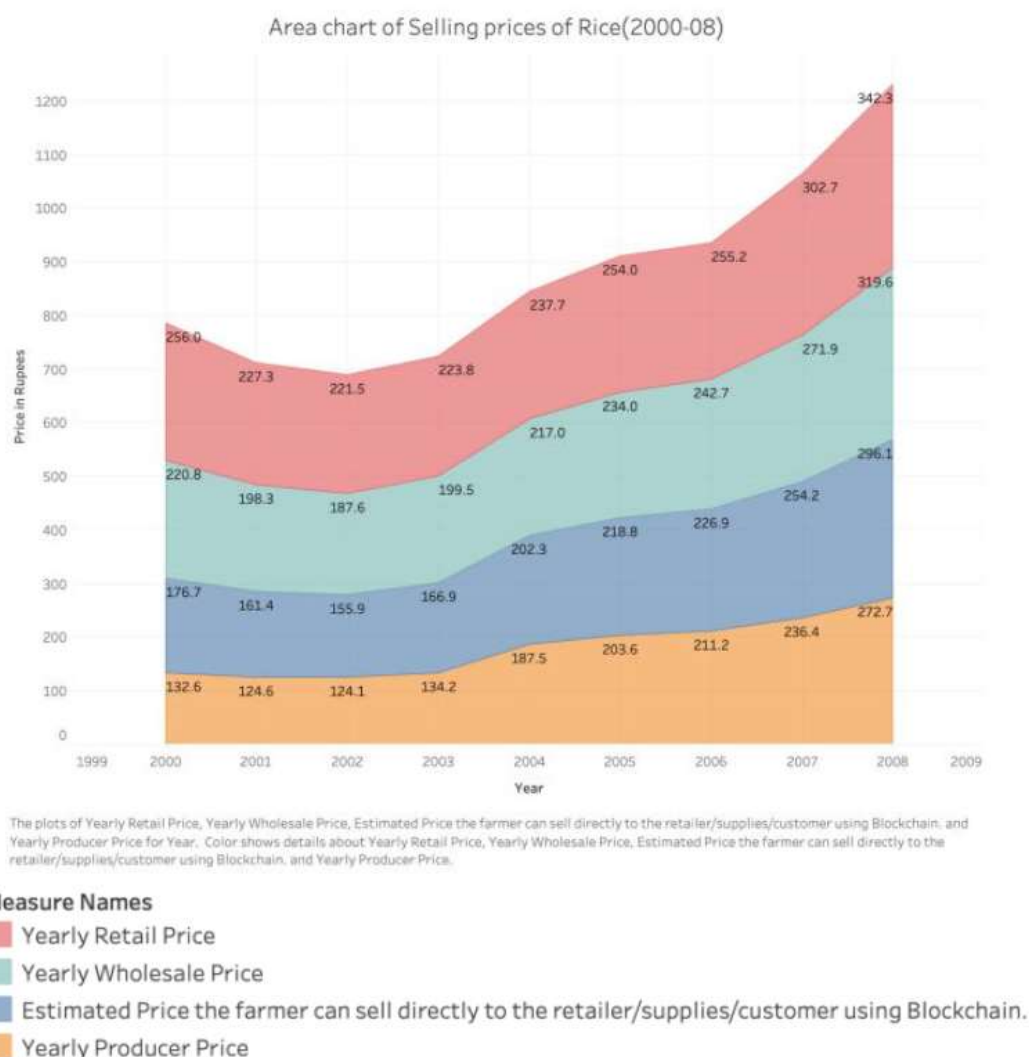


Figura 22: Comparación de precios de venta por cada usuario de la CS. Fuente: Harshavardhan et al., (2019)

Según los autores y basándose en la Figura 22, pudiendo los agricultores vender sus productos directamente al minorista/proveedor/consumidor, podrían incluso llegar a venderlo a casi el doble del precio y al usuario final le llegaría el producto con el mismo precio de venta. Es por esto que el informe concluye diciendo que a pesar de que no se ha analizado la puesta en marcha de un proyecto real de Blockchain, los beneficios que este podría suponer en términos económicos podrían ser muy beneficiosos, no solo para el vendedor incluso para el comprador el cual vería reducido el precio de venta de los productos agrícolas.

Por otra parte, Ko et al., (2018) analiza si el uso de la tecnología Blockchain puede dar transparencia a tiempo real y reducir costes a las industrias para ello analizando la literatura relacionada hasta mediados del 2018.

En lo que respecta a la Blockchain aplicada a la CS, los autores coinciden que está en pleno auge. Confirman que la tecnología Blockchain puede ser aplicada a varias industrias como pueden ser la industria automotriz o la agrícola (Abeyratne, 2016). La tecnología RFID al poder confirmar datos como el proceso, almacén de ubicación, etc. al ser combinado con la tecnología Blockchain, puede ser usado para asegurar una gran transparencia e información al momento que puede ser seguido por cualquier usuario de la cadena (Tian, 2016).

Esto a la vez ayuda a que cualquier verificación que se quiera hacer a lo largo de la CS pueda hacerse de una manera más rápida y, por lo tanto, barata. Los autores ven un alto potencial a este tipo de planteamientos para industrias que necesitan una trazabilidad alta y concisa además de asegurar la máxima calidad de sus productos, como son la industria aeroespacial y la médica (Mondragon, 2018).

Para poder sacar unas conclusiones, los autores se basan en la teoría de juegos y desarrollan un planteamiento matemático para comparar los resultados en dos escenarios y poder obtener resultados teóricos. En el primer escenario se plantea una competición entre dos empresas diferentes; por una parte, una fábrica PYME con tecnología Blockchain y por otra una gran fábrica líder de mercado sin tecnología Blockchain. En el segundo escenario compara un juego entre dos fábricas líderes de mercado uno con tecnología Blockchain y el otro sin.

Ambos planteamientos terminan concluyendo que las fábricas que tienen la tecnología Blockchain obtienen reducciones de coste capaces de justificar la implementación de la tecnología Blockchain y así hacer que merezca la pena esa inversión inicial.

Por lo tanto, los autores concluyen confirmando que la tecnología Blockchain podría traer grandes mejoras para reducir costes y así aumentar los beneficios, de esta manera ayudando a empresas más pequeñas hacer frente al actual mercado competitivo. La implantación de la tecnología Blockchain aseguraría la integridad de un sistema distribuido a la vez que daría transparencia a tiempo real y una reducción de costes mediante el algoritmo de consenso. Es por esto que los autores subrayan que las industrias del futuro usaran la tecnología Blockchain con la intención de reducir costes y poder aumentar su competitividad en el mercado.

Baumung y Fomin (2018) desarrollan una arquitectura Blockchain para facilitar una gestión de ordenes descentralizada. Esta estructura está desarrollada para mejorar la generación de pedidos en base a la demanda del consumidor, como se puede apreciar en la Figura 23. Los autores proponen el uso de Contratos Inteligentes como pieza clave para una fácil y rápida gestión de los pedidos. Como puede verse en la Figura 23, son los contratos inteligentes donde se une la información de los clientes y la información de los productores

Para empezar a obtener resultados se hizo un test donde el fabricante ofreció las capacidades de producción disponibles y, al mismo tiempo, los requisitos de producción de los clientes se conectaron en red con estas capacidades de producción. Aunque solo había un portal web para clientes y fabricantes, era posible cambiar de cuenta y así verificar los puntos de vista para cada transacción. Al usar la Blockchain pública, todos los productores y todos los pedidos con todos los datos de producción requeridos, como el tamaño del espacio del edificio, el proceso de fabricación y el material se pudieron intercambiar y acceder sin necesidad de un intermediario.

El algoritmo de consenso de esta Blockchain requiere que los participantes pongan a disposición su capacidad computacional para la confirmación de las transacciones. Por lo tanto, el número de participantes influye en la seguridad de la red. Para alentar a los participantes a proporcionar su poder de cómputo, deben ser recompensados, lo que generaría tarifas por la creación y el procesamiento de Contratos Inteligentes. Desde la perspectiva de las empresas, la transparencia total de las transacciones puede ser una desventaja y una ventaja al mismo tiempo, como los datos proporcionados sobre los clientes y productores. La ventaja de este enfoque es que toda la cadena de suministro puede permanecer completamente transparente para el cliente, pero surge la pregunta de si estos datos realmente deberían divulgarse de manera transparente desde un punto de vista empresarial.

Los autores terminan coincidiendo que la arquitectura e implementación presentadas pueden demostrar como el procesamiento de pedidos mediante Blockchain puede ser llevado a cabo sin ninguna manipulación y con total transparencia. Al mismo tiempo, se ve que los productores pueden ofrecer sus capacidades de producción disponibles directamente en el mercado. Además, las plantas de producción individuales con sus características y capacidades específicas pueden mapearse de manera flexible y como una red de producción abierta integradora. Por último, el ejemplo de la producción multidimensional en particular ofrece a las empresas una oportunidad de ahorro de recursos para la cooperación cooperativa y el fortalecimiento de la competitividad individual.

Por otro lado, Niu y Li (2019) analizan las mejoras que podría dar la Blockchain a las CS actuales. Para ello, clasifican tres grandes problemas que se dan en las CS hoy en día: Retrasos en la transferencia de información, falta de transparencia y débil trazabilidad.

- **Retrasos en la transferencia de Información:** Las cadenas de suministro actuales tienen una amplia gama de empresas que toman parte en su CS. Las empresas centrales tienen una capacidad de gestión e influencia limitadas en toda la CS, y como la eficiencia de gestión se reduce, los costos de gestión tienden a aumentar. Por lo tanto, la transmisión de información a menudo se retrasa y ocurre cuando

todas las partes de la CS no pueden obtener la misma información. Todo el proceso de gestión de la cadena de suministro se basa en la transmisión de información muy precisa dentro del sistema. La transmisión de información prematura y distorsionada en la cadena de suministro trae una serie de problemas, como por ejemplo el Efecto Látigo.

- **Falta de Transparencia:** Existe la falta de una forma efectiva y confiable para que los compradores y vendedores verifiquen el verdadero valor de los productos que compran y venden. Es difícil para cada participante en la cadena de suministro comprender la situación actual y los problemas existentes, por lo tanto, la eficiencia de la cadena de suministro se ve afectada. La falta de visibilidad aumenta el coste total de la CS y no hay un libro de cuentas o sistema que registre que guarde series de transacciones que ocurren a lo largo de la CS.
- **Débil Trazabilidad:** La trazabilidad de bienes todavía se hace de manera manual en muchos procesos de la CS. El seguimiento de los bienes suele depender de la fortaleza de las medidas de supervisión de la empresa central, y si el flujo de información entre el agente central y diferentes agentes que componen la CS no es la adecuada, la trazabilidad suele ser complicada e inexacta.

Es, por tanto, y basándose en los tres puntos anteriores que los autores hacen hincapié en los siguientes tres puntos como posibles mejoras importantes que la tecnología Blockchain podría proveer a las CS.

- **Seguimiento de Información de la CS:** Mediante el uso de técnicas de la Blockchain, se puede registrar un proceso completo de recopilación y entrega de información. Además, la información de las transacciones en estos procesos tiene las características que los agentes de la cadena mantienen y no pueden ser manipulados. Previene efectivamente la pérdida de información logística y otros problemas relacionados.

Por otro lado, al adoptar el modo de logística multimodal, los datos de transacción generados durante el proceso de transporte logístico se perderán fácilmente si hay múltiples transferencias de transportista. Sin embargo, si se aplica una red Blockchain, se puede garantizar el intercambio de transacciones y la integridad de la información entre diferentes operadores.

- **Compartir la información en la cadena:** Debido a que la Blockchain es transparente, central, no manipulable y rastreable, es naturalmente adecuada para múltiples partes para construir una plataforma de intercambio de información. El algoritmo de cifrado también se puede utilizar para proteger la información de

privacidad de las empresas en la cadena de suministro.

Por ejemplo, si la empresa principal puede informar al proveedor de los bienes requeridos, no revelará el nombre específico del proveedor a otras empresas del ecosistema. En el proceso de entrega del producto, la empresa puede dominar la información detallada del proceso de entrega en el entorno logístico, como la presión y la temperatura. Y cuando el producto llegue al puerto, listo para cargar y transferir al camión, producirá un nuevo registro de transacciones. La transacción de transporte entre los proveedores de logística también se registrará en la cadena de bloques para que las empresas la consulten.

- **Manipulación de la información:** El beneficio respecto a la manipulación de la tecnología Blockchain es incluir a fabricantes, proveedores, distribuidores, minoristas y usuarios finales en la aplicación del sistema de la cadena de bloques. La tecnología de la cadena de bloques requiere que el nodo que tiene el derecho de cuenta debe agregar una marca de tiempo en el encabezado del bloque de datos actual para indicar el tiempo de escritura de los datos del bloque.

La marca de tiempo se puede utilizar como prueba de existencia de los datos de bloque (Prueba de existencia), que ayuda a formar una base de datos de cadena de bloques que no puede ser manipulada ni falsificada. Antes de que el producto se venda en el mercado oficialmente, los productores primero registran el producto en la red de la cadena de bloques y luego registran la transacción en cada transacción paso a paso en el proceso de transacción del mercado.

Por lo tanto, los autores concluyen que en los últimos dos años la investigación y desarrollo de Blockchain ha demostrado una gran tendencia explosiva. Afirman que la aplicación de la Blockchain en la CS será una actividad común dentro de pocos años puesto que puede cambiar la manera en la que se comparte la información, la logística y la interacción entre diferentes agentes que componen la CS. Además, finalizan recalcando que con la ayuda de la Blockchain las CS se convertirán más transparentes en el futuro, ayudando así a que las colaboraciones entre agentes a gran escala sean más fáciles de llevar a cabo.

Por último, Tijan (2019) analiza la implementación de la tecnología Blockchain en la Logística mediante el análisis de documentos académicos y comerciales, además de casos reales de aplicaciones Blockchain en la CS.

Según los autores, la Blockchain es considerada una posible solución para conectar y gestionar dispositivos IdC, es por esto que la logística en general es considerada uno de los entornos que más beneficio pueden sacar de esta nueva tecnología (Dobrovnik, 2018). Como ejemplo usan a Walmart, supermercado muy extendido en los EEUU, el cual tiene

como objetivo mejorar las entregas de corta distancia a través de la coordinación de drones de entrega utilizando tecnología Blockchain. Además, los dispositivos IdC conectados a la cadena de bloques también podrían hacer uso de criptomonedas, lo que les permitiría interactuar de forma autónoma con otras partes a través de contratos inteligentes para pagar tarifas y aranceles por sí mismos, por ejemplo, para el acceso prioritario a corredores aéreos restringidos (Dobrovnik, 2018).

Por otro lado, IBM ha intentado racionalizar el apalancamiento de la Blockchain en la cadena de suministro (Dickson, 2016). IBM, en asociación con Samsung, desarrolló la plataforma ADEPT ("Telemetría descentralizada punto a punto autónoma"), que utiliza elementos del diseño subyacente de Bitcoin para construir una red distribuida de dispositivos o Internet de las cosas descentralizado. ADEPT utiliza tres protocolos en la plataforma: Bit Torrent (para compartir archivos), Ethereum (para Smart Contracts) y TeleHash (para mensajería punto a punto).

Otro buen ejemplo de IBM es la plataforma Blockchain basada en la nube que ofrece capacidades de extremo a extremo que los clientes necesitan para activar rápidamente y desarrollar, operar, gobernar y asegurar con éxito sus propias redes comerciales. IBM y Maersk ven la adopción de Blockchain como una forma de lograr esta mejora.

Al proporcionar una vista única de todas las transacciones que tienen lugar en una red compleja de partes, Blockchain puede ayudar a eliminar un considerable desperdicio de recursos. Por otra parte, la Blockchain puede ayudar a todas las partes involucradas en el envío a aumentar la sostenibilidad, reducir o eliminar el fraude y los errores, mejorar la gestión de inventario, minimizar los costos de mensajería, el desperdicio e identificar problemas más rápido. Esto podría aumentar el PIB mundial en casi un 5% y el volumen comercial total en un 15% (Foro Económico Mundial, 2018). Se puede ver un resumen de los artículos analizados en este apartado en la Tabla 6.

<u>Autor, año</u>	<u>Tipo de justificación</u>
<u>Baumung, W., Fomin, V., 2018</u>	Prueba Experimental
<u>Harshavardhan et al., 2019</u>	
<u>Ko et al., 2018</u>	
<u>Niu, X., Li, Z., 2019</u>	Marco Teórico
<u>Tijan et al., 2019</u>	
<u>Zhan et al., 2019</u>	
<u>Mao et al., 2018</u>	Estudio de Caso

Tabla 6: Tabla resumen de los artículos analizados respecto a la transparencia y reducción de costes

6. Conclusiones

Este proyecto ha sido desarrollado con el objetivo de analizar y profundizar en los avances que se han dado en la tecnología Blockchain en lo que respecta a la CS.

Para llevarlo adelante, se definió y realizó una elaborada y precisa búsqueda de documentación académica con el objetivo de entender los avances y desarrollos que se han dado hasta el día de hoy. Al ver que la tecnología Blockchain provee de varias características positivas, se decidió agruparlas en 3 aspectos en los que la Blockchain tiene un impacto directo y significativo.

La trazabilidad es la primera y probablemente más importante de ellas, puesto que es donde la tecnología Blockchain puede suponer uno de los mayores avances tecnológicos de la historia. Al aportar una máxima trazabilidad, todos los agentes involucrados en la CS pueden llegar a tener una transparencia del producto que puede evitar desde productos que no tengan la calidad deseada, como medicamentos o alimentos en los que sea necesario asegurarse de que no se haya roto la cadena de frío, a incluso mercados negros, donde mediante la Blockchain podamos saber el origen de los productos y se pueda catalogar con facilidad cualquier producto de origen dudoso o ilegal.

Por otro lado, se han analizado varias aplicaciones industriales de la tecnología Blockchain que podrían suponer una revolución para la CS. La Blockchain unida al IdC es capaz de llegar a altos niveles de automatización de toda la CS. Al compartir la misma red de datos todos los elementos de la CS pueden tener una visión general del proceso y optimizar sus recursos para un funcionamiento óptimo de toda la cadena. Además, la tecnología Blockchain al ser una red descentralizada, el peligro de pérdida de datos o pérdida de comunicación entre elementos sería mínima debido a su alta estabilidad y seguridad.

Por último, la tecnología Blockchain puede proveer de una gran transparencia a la CS a la vez que reducción de costes. Al recopilar y almacenar toda la información (además de manera descentralizada), una red Blockchain asegura la veracidad de todos los datos, asegurando así una máxima transparencia a sus usuarios. Por otro lado, al englobar toda la CS, la tecnología Blockchain es capaz de poner en contacto a productores y compradores, evitando así la necesidad de intermediarios y ahorrando el aumento de precio que ocurre al ir pasando el producto final de un agente a otro. Además, el hecho de tener un contacto directo con el usuario final, puede ayudar a las CS a reducir todo el inventario intermedio y a reducir todavía más sus costes de producción.

Desgraciadamente, también se ha concluido que la tecnología Blockchain todavía tiene ciertas limitaciones o aspectos negativos que pueden hacer dudar a las empresas de hoy

en día en su implantación. Esta tecnología requiere de una gran cantidad de energía y capacidad de computación debido al minado, algoritmos criptográficos complejos y protocolos P2P ineficientes. Por otro lado, la tecnología Blockchain requiere un despliegue de hardware de un coste elevado, que quizás en el estado de varias empresas, el beneficio no llegué a rentabilizar el coste inicial. Por último, a día de hoy hacen falta leyes y estándares específicos para poder optimizar el uso de la Blockchain, puesto que hoy en día la mayoría de empresas están desarrollando su propia red y al querer añadir diferentes agentes a sus redes lo mejor sería compartir las mismas bases para así poder integrar unos con otros más fácilmente.

Después de analizar y desarrollar este proyecto, se ha presenciado la necesidad de seguir trabajando y financiando proyectos al respecto, puesto que esta tecnología demuestra mucho potencial, pero todavía es necesario seguir desarrollándola y realizando más pruebas empíricas para así estandarizarlo y llevar las CS a un nuevo nivel.

7. Impacto Ambiental

La realización de este proyecto no presenta un impacto ambiental directo, puesto que ha sido un proyecto teórico y no práctico, basado en analizar el estado del arte de la tecnología Blockchain en la CS.

No obstante, el uso y la expansión de la tecnología Blockchain puede acarrear con ella diferentes impactos ambientales en las CS de las industrias de hoy en día.

La característica más representativa es que la implantación de la tecnología Blockchain conllevaría un aumento del consumo eléctrico y computacional suponiendo así un mayor impacto medioambiental que los sistemas actuales. Como se ha explicado varias veces a lo largo de este trabajo, una de las ventajas de la tecnología Blockchain es la descentralización que ayuda a tener una red mucho más estable y segura, consiguiendo una mayor accesibilidad a los datos.

Desagraciadamente, esto lleva consigo el problema de que hoy en día tener una cadena de bloques requiere una infraestructura de gran tamaño que necesita un alto consumo de energía para llevar a cabo todas las validaciones basadas en los algoritmos de consenso y contratos inteligentes. Por lo tanto, la implantación de Blockchain conlleva un aumento del consumo energético con la contaminación que supone el proceso de obtener esa energía.

Por otro, la tecnología Blockchain también puede proveer de una reducción del impacto ambiental a gran escala. Uno de los puntos fuertes analizados de la tecnología Blockchain, es la desaparición de intermediarios, lo cual reduciría los agentes implicados en una CS y por lo tanto la cantidad de veces que debe ser desplazado el producto.

Es decir, la tecnología Blockchain es capaz de hacer desaparecer a mayoristas y minoristas, dando al productor y cliente final una manera de conectarse. Esto supone una reducción de desplazamientos del producto final, por ejemplo, en el caso de la agricultura, no sería necesario llevar los alimentos a un almacén general y después al cliente final. La conexión entre cliente final y productor eliminaría este paso, y de esta manera se eliminaría la contaminación producida en esta parte, reduciendo el impacto ambiental general.

El control y la trazabilidad total podrían reducir significativamente el mercado negro, lo cual también haría reducir el impacto ambiental de las prácticas prohibidas que este mercado conlleva. Como por ejemplo el tráfico descontrolado de madera entre Rusia y China que está llevando a niveles altos de deforestación. Con la Blockchain se podría asegurar que ningún árbol es talado en zonas de deforestación, evitando así los problemas ambientales que este puede acarrear consigo.

8. Presupuesto del Proyecto

En el siguiente apartado es elaborado el presupuesto que sería necesario para llevar a cabo este proyecto. Para cuantificar el coste que ha podido llevar este proyecto, se han tenido en cuenta costes como el salario del ingeniero y estudiante que ha llevado a cabo el proyecto, la suscripción a las bases de datos para realizar la búsqueda, las licencias de los softwares usados como la amortización del equipo informático usado. Véase el resumen en la tabla Tabla 7.

- Respecto al salario del ingeniero al cargo, se ha decidido optar por 20€/hora como salario base de un ingeniero. Después, se ha multiplicado por 450 horas de trabajo que están divididas en la búsqueda bibliográfica sobre la Blockchain, clasificación y análisis de los documentos y la redacción de la memoria.
- Ha sido necesario tener una suscripción a las bases de datos Scopus y Web of Science para poder realizar la búsqueda bibliográfica de los documentos. Para calcular el coste que ha tenido usar ambas bases de datos, se ha basado en el coste de suscripción anual a las bases de datos de 2019. (Se ha tenido en cuenta el cambio monetario a día del 11 de abril de 2019 que era 1\$ = 0.91€).
- Por último, se han tenido en cuenta el software informático necesario para realizar el proyecto y la amortización del ordenador usado. La licencia de Windows 10 tiene un coste de 145€ (microsoft.com) y la de Microsoft Office Hogar de 149€ (products.office.com) Por otro lado, el valor inicial del ordenador en el momento de la compra era de 1075 € y es considerado que este tipo de dispositivos electrónicos deberían de ser amortizados en 4 años debido a la obsolescencia tecnológica.

	Importe €
Salario del Ingeniero encargado del proyecto	3.600,00 €
Subscripción a Web of Science	190,80 €
Subscripción a Scopus	126,00 €
Licencia de Windows 10 Microsoft Office Hogar y Estudiantes	294,00 €
Amortización del equipo informático	134,38 €
IVA (21%)	912,48 €
Presupuesto total del proyecto	5.257,66 €

Tabla 7: Presupuesto del proyecto. Fuente: propia.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a varias personas el apoyo y ayuda que me han aportado a lo largo de este proyecto.

Para empezar, a mi tutora Immaculada Ribas que desde el primer momento se ofreció a llevar adelante este proyecto y a guiarme por el que sería uno de mis mayores retos académicos. Siempre estuvo dispuesta a ayudarme con cualquier reto que surgía a lo largo del proyecto y supo aconsejarme de la mejor manera, lo cual valoro mucho.

Bestalde, eta garrantzi haundienetako beraiei emanaz, proiektu hau ez litzateke posible izango nire bizitzan zehar, eta batez ere azken urte ilun honetan, nire gurasoen babesa izango ez banu. Beraiek izan dira beti nire zutabe eta gidari, eta ez nintzateke bertan izango beraingatik ez balitz.

Baita ere Danel eta Xabiri, on eta txarretan alboan izan ditudalako, benetako laguntasunaren kontzeptuari zentzua emanaz.

Azkenik, bidaia luze honetan bueltan izan ditudan familia, lagun, kide eta ezagun guztiei, nola ahala bide honetan hartutako erabaki guztiek eraman nautelako gaur egun hemen izatera.

Bibliografía

Referencias Bibliográficas

Abeyratne, S.A. (2016). Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(09), 1–10. doi: 10.15623/ijret.2016.0509001

Barhamgi, M., Perera, C., Ghedira, C., & Benslimane, D. (2018). User-centric Privacy Engineering for the Internet of Things. *IEEE Cloud Computing*, 5(5), 47–57. doi: 10.1109/mcc.2018.053711666

Baumung, W., & Fomin, V. (2019). Framework for enabling order management process in a decentralized production network based on the blockchain-technology. *Procedia CIRP*, 79, 456–460. doi: 10.1016/j.procir.2019.02.121

Blockchain: bloques, transacciones, firmas digitales. (n.d.). Retrieved from https://www.criptonoticias.com/criptopedia/blockchain-bloques-transacciones-firmas-digitales-hashes/#Firmas_digitales

Borrero, J. D. (2019). Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología Blockchain. *CIRIEC-España, Revista De Economía Pública, Social y Cooperativa*, (95), 71. doi: 10.7203/ciriec-e.95.13123

Cachin, C. (2016). Non-determinism in Byzantine fault-tolerant replication. *Proceedings of the International Conference on Principles of Distributed Systems (OPODIS 2016)*.

Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81. doi: 10.1016/j.tele.2018.11.006

Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*, 4, 2292–2303. doi: 10.1109/access.2016.2566339

Contreras, M., Mendiola, J., Agencias, & Luna, A. G. (2015, September 15). Así es como las grandes empresas venden tus datos en internet. Retrieved from https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-09-14/asi-es-como-venden-tus-datos-personales-en-internet_1011071/

Costa, P., Costa, M., & Barros, M. (n.d.). Using big data to detect illegality in the tropical timber sector.

Davis, J. (n.d.). The Crypto-Currency. Retrieved from <https://www.newyorker.com/magazine/2011/10/10/the-crypto-currency>

Deloitte. Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>

Dickson, B. (2016, November 25). Blockchain has the potential to revolutionize the supply chain. Retrieved from <https://techcrunch.com/2016/11/24/blockchain-has-the-potential-to-revolutionize-the-supply-chain/>

Digiconomist. (2019). Bitcoin energy consumption index. Retrieved from www.digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption#assumptions

Dobrovnik, M., Herold, D., Fürst, E., & Kummer, S. (2018). Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. *Logistics*, 2(3), 18. doi: 10.3390/logistics2030018

European Union blockchain observatory and forum. Retrieved from <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/eu-blockchain-observatory-and-forum>

Fernandez-Carames, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2019). A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories. *IEEE Access*, 7, 45201–45218. doi: 10.1109/access.2019.2908780

Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I., & Fraga-Lamas, P. (2019). Towards an Autonomous Industry 4.0 Warehouse: A UAV and Blockchain-Based System for Inventory and Traceability Applications in Big Data-Driven Supply Chain Management. *Sensors*, 19(10), 2394. doi: 10.3390/s19102394

Figorilli, S., Antonucci, F., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., Castiglione, M., ... Menesatti, P. (2018). A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open Source Traceability of Wood along the Whole Supply Chain. *Sensors*, 18(9), 3133. doi: 10.3390/s18093133

Food and Agriculture Organization of United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/statistics/statistical-capacity-development/en/>

Fraga-Lamas, P., & Fernandez-Carames, T. M. (2019). A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry. *IEEE Access*, 7, 17578–17598. doi: 10.1109/access.2019.2895302

Harshavardhan, R. (2019). Blockchain: To Improve Economic Efficiency and Supply Chain Management in Agriculture. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering Regular Issue*, 8(12), 4999–5004. doi: 10.35940/ijitee.I3749.1081219

Hastig, G. M., & Sodhi, M. S. (2019). Blockchain for Supply Chain Traceability: Business Requirements and Critical Success Factors. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.3493418

InfoSys. (2017). Integrating blockchain with ERP for a transparent supply chain. Retrieved from <https://www.infosys.com/Oracle/white-papers/Documents/integratingblockchain-erp.pdf>

Internet Usage Statistics. The Internet Big Picture. (n.d.). Retrieved 2017, from <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>

Johnson, D., Menezes, A., & Vanstone, S. (2001). The Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA). *International Journal of Information Security*, 1(1), 36–63.

Ko, T., Lee, J., & Ryu, D. (2018). Blockchain Technology and Manufacturing Industry: Real-Time Transparency and Cost Savings. *Sustainability*, 10(11), 4274. doi: 10.3390/su10114274

Lee, E., & Shen, J. (2019, November 12). China's data-based C2M model to drive e-commerce forward. *TechNode*. Retrieved from <https://technode.com/2019/11/12/chinas-data-based-c2m-model-to-drive-e-commerce-forward/>

Li, N., Liu, D., & Nepal, S. (2017). Lightweight Mutual Authentication for IoT and Its Applications. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, 2(4), 359–370. doi: 10.1109/tsusc.2017.2716953

Liao, Y., & Xu, K. (2019). Traceability System of Agricultural Product Based on Blockchain and Application in Tea Quality Safety Management. *Journal of Physics: Conference Series*, 1288, 012062. doi: 10.1088/1742-6596/1288/1/012062

Lo, S. K., Xu, X., Chiam, Y. K., & Lu, Q. (2017). Evaluating Suitability of Applying Blockchain. 2017 22nd International Conference on Engineering of Complex Computer

Systems (ICECCS). doi: 10.1109/iceccs.2017.26

Lu, Q., & Xu, X. (2017). Adaptable Blockchain-Based Systems: A Case Study for Product Traceability. *IEEE Software*, 34(6), 21–27. doi: 10.1109/ms.2017.4121227

Luu, L., Chu, D.-H., Olickel, H., Saxena, P., & Hobor, A. (2016). Making Smart Contracts Smarter. *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security - CCS16*. doi: 10.1145/2976749.2978309

Madhwal, Y., & Panfilov, P. (2017). Blockchain And Supply Chain Management: Aircrafts' Parts' Business Case. *DAAAM Proceedings Proceedings of the 28th International DAAAM Symposium 2017*, 1051–1056. doi: 10.2507/28th.daaam.proceedings.146

Making Blockchain Real for Business. Explained with High Security Business Network Service. (n.d.). Retrieved 2016, from https://www.ibm.com/systems/data/flash/it/technicalday/pdf/Making_blockchain_real_for_business.pdf.

Mao, D., Hao, Z., Wang, F., & Li, H. (2018). Innovative Blockchain-Based Approach for Sustainable and Credible Environment in Food Trade: A Case Study in Shandong Province, China. *Sustainability*, 10(9), 3149. doi: 10.3390/su10093149

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer Electronic cash system. Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

Niu, X., & Li, Z. (2019). Research on Supply Chain Management Based on Blockchain Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1176, 042039. doi: 10.1088/1742-6596/1176/4/042039

Paletto, A., & Notaro, S. (2018). Secondary wood manufactures willingness-to-pay for certified wood products in Italy. *Forest Policy and Economics*, 92, 65–72. doi: 10.1016/j.forpol.2018.04.002

Preden, J. S., Tammemaie, K., Jantsch, A., Leier, M., Riid, A., & Calis, E. (2015). The Benefits of Self-Awareness and Attention in Fog and Mist Computing. *Computer*, 48(7), 37–45. doi: 10.1109/mc.2015.207

Prutov, I., & Malkov, S. (2018). Russian forest sector overview 2018. Retrieved from [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-russia-wood-survey-eng/\\$FILE/ey-russia-wood-survey-eng.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-russia-wood-survey-eng/$FILE/ey-russia-wood-survey-eng.pdf)

PWC. Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers. (2018).

Qué es el Consenso en criptomonedas. (2020, March 12). Retrieved from <https://academy.bit2me.com/consenso-criptomonedas/>

Salah, K., Nizamuddin, N., Jayaraman, R., & Omar, M. (2019). Blockchain-Based Soybean Traceability in Agricultural Supply Chain. *IEEE Access*, 7, 73295–73305. doi: 10.1109/access.2019.2918000

Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) A Social Innovation Perspective. doi: 10.25073/0866-773x/97

Standards. Retrieved from <https://blockchain.ieee.org/standards>

Subramanian, H. (2017). Decentralized blockchain-based electronic marketplaces. *Communications of the ACM*, 61(1), 78–84. doi: 10.1145/3158333

Swan, M. (2018). Blockchain Economic Networks: Economic Network Theory—Systemic Risk and Blockchain Technology. *Business Transformation through Blockchain*, 3–45. doi: 10.1007/978-3-319-98911-2_1

SyncFab. (2018). Decentralized Manufacturing. Creating the world's first peer-to-peer manufacturing supply chain and incentivized token system adapted for public and private blockchains. Retrieved from https://blockchain.syncfab.com/SyncFab_MFG_WP.pdf.

Taiwan Food and Drug Administration. Taiwan Food and Drug Administration Requires That the Crestor Be Recalled. Retrieved from <https://www.fda.gov.tw/TC/newsContent.aspx?cid=4&id=21865>

Tijan, E., Aksentijević, S., Ivanić, K., & Jardas, M. (2019). Blockchain Technology Implementation in Logistics. *Sustainability*, 11(4), 1185. doi: 10.3390/su11041185

Tseng, J.-H., Liao, Y.-C., Chong, B., & Liao, S.-W. (2018). Governance on the Drug Supply Chain via Gcoin Blockchain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1055. doi: 10.3390/ijerph15061055

Vilkov, A., & Gang, T. (2019). Blockchain as a solution to the problem of illegal timber trade between Russia and China: SWOT analysis.

Yuan, Y., & Wang, F.-Y. (2016). Towards blockchain-based intelligent transportation systems. 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). doi: 10.1109/itsc.2016.7795984

Zhan, H., Lv, X., & Xu, D. (2019). Research on Blockchain Technology in Promoting

Environmental Protection Development of Agricultural Products E-commerce Model in Jilin Province. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 612, 052037. doi: 10.1088/1757-899x/612/5/052037

Zhou, Y., Wu, J., & Long, C. (2018). Evaluation of peer-to-peer energy sharing mechanisms based on a multiagent simulation framework. Applied Energy, 222, 993–1022. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.02.089